

### 3. PINTURA ELECTROSTÁTICA

#### 3.1. DESCRIPCION DE LA PINTURA ELECTROSTÁTICA

La pintura en polvo electrostática básicamente es una alternativa diferente para el recubrimiento de piezas, con grandes ventajas en comparación con las alternativas existentes en recubrimientos.

La Pintura en Polvo es una mezcla homogénea de cargas minerales, pigmentos y resinas en forma sólida, en forma de partículas finas, que se aplica con un equipamiento especial-pistola electrostática para polvo-en el que se mezcla con aire y se carga eléctricamente. Las partículas cargadas eléctricamente se adhieren a la superficie a ser pintada, que está a tierra. Las partículas de Pintura en Polvo que permanecen adheridas a la pieza por carga estática son inmediatamente calentadas en un horno donde se transforman en un revestimiento continuo. Cuando la pintura se funde los componentes químicos, en este caso las resinas, reaccionan entre sí formando una película. El resultado es un revestimiento uniforme, de alta calidad, adherido a la superficie, atractivo y durable.

Las ventajas que se tienen al implementar la pintura en polvo electrostática se verían reflejadas en la eficiencia de aplicación, el hecho de que no son inflamables, la reducción de área en el depósito siendo comparativo con las mismas proporciones de pintura líquida, la reducción de costos en la deposición de

los residuos generados en el proceso, tiene un reciclaje del 95% de la pintura que no queda aplicada a la pieza, es menos peligrosa para la salud de los operarios en comparación con la pintura líquida y tiene una resistencia físico-química muy superior frente a impactos, rayones, dobleces y agentes químicos.

### 3.2. COMPOSICION DE LA PINTURA ELECTROSTÁTICA

La pintura electrostática es un compuesto de resinas sintéticas, endurecedores, aditivos, pigmentos y cargas. Los porcentajes en los cuales estos se presenten, dará a la pintura las características propias como lo son el color, la resistencia, la flexibilidad y el acabado.

La composición de la pintura es demasiado variada como para tener valores porcentuales absolutos de todos los posibles tipos de pintura que se puedan desarrollar, sin embargo existen algunos lineamientos que permiten al formulador ir modificando las cantidades de los compuestos hasta lograr el producto que se requiere en determinada aplicación.

Las resinas son la base de la pintura, ya que son las encargadas de aportarle el brillo y la mayoría de propiedades mecánicas a la misma. Para lograr un buen recubrimiento en la pieza se habla de tener aproximadamente entre un 50-55% del peso total en resina. Y su porcentaje es directamente proporcional al aumento de las propiedades que le da a la pintura.

Los endurecedores son los compuestos que reaccionan con las resinas para que se dé la polimerización. De acuerdo al tipo de resina que se use para las

diferentes aplicaciones, tiene también su endurecedor definido. Por esto, el endurecedor no tiene muchas posibilidades de variación dentro de las pinturas y se podría asumir como un valor constante.

Los pigmentos son los encargados de darle el color a la pintura. Para este compuesto en particular la formulación porcentual es similar a la de la pintura líquida, ya que el color exacto que se requiere tiene sus porcentajes definidos en los colores que lo conforman. Los pigmentos que se utilizan para la pintura electrostática deben ser especiales para soportar y no decolorarse a las altas temperaturas que son sometidos en el proceso de polimerización.

Las cargas son los componentes encargados de brindar al producto final importantes propiedades mecánicas como la resistencia al impacto, también ayudan a eliminar el brillo excesivo que puedan dejar las resinas en la pintura. Por último, los aditivos son el componente de menor porcentaje dentro de la pintura, y están encargados del aspecto y del acabado de la pintura, para que sea de manera prolija y homogénea.

Pese a la cantidad de posibilidades que se pueden gestar modificando los porcentajes de los componentes de la pintura electrostática, actualmente en el mercado existen tres tipos de pintura comercial: la epoxi, la poliéster- Tgic, y la epoxi/poliéster (hibrida). Las cuales se pueden comprar del color necesario y que abarcan aproximadamente el 87% de consumo de pintura electrostática en Colombia.

Cada uno de estos tipos de pintura es utilizado en la industria para diferentes aplicaciones, en las cuales se deben tener en cuenta factores como la corrosión, la exposición al sol y la resistencia al impacto.

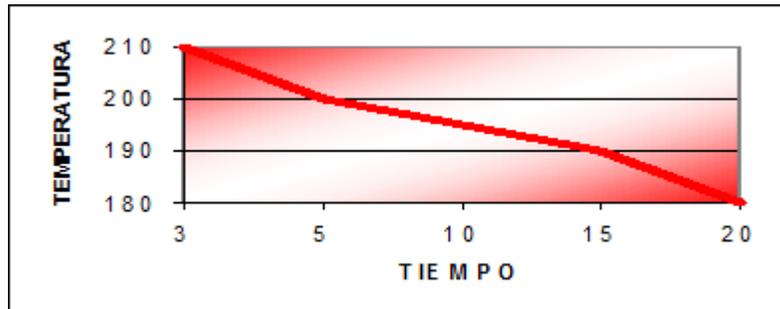
- La pintura Epoxi está conformada por resinas epoxidicas, las cuales son utilizadas principalmente con fines funcionales, sacrificando así un poco el acabado. Las características esenciales de este tipo de pintura es que cuenta con una elevada resistencia a los impactos, garantiza un muy buen rendimiento de aplicación, mejora la adherencia de las posteriores capas de pintura, tiene un alto agente para evitar la oxidación y no es contaminante. En contraprestación a estos beneficios, la pintura epoxi tiene muy baja durabilidad en brillo y acabado, y no son recomendados para aplicaciones a la intemperie. Las aplicaciones más comunes para este tipo de pinturas son: Anticorrosivos, acabados funcionales, y resistencia química.

Tabla 1. Propiedades mecánicas epoxi.

<b>BRILLO GARDNER A 60 ° (ISO 2813)</b>	<b>15 – 75</b>
<b>ADHERENCIA: RESISTENCIA AL CUADRICULADO ISO (2409)</b>	<b>100 %.</b>
<b>DUREZA KONIG (ISO 1522)</b>	<b>90 - 130 oscilaciones</b>
<b>DUREZA AL LÁPIZ (ABNT NBR 7527)</b>	<b>3 H</b>
<b>FLEXIBILIDAD AL MANDRIL CÓNICO (ISO 1519)</b>	<b>Resistente</b>
<b>ENSAYO DE IMPACTO (ASTM D 2794)</b>	<b>80 – 120</b>
<b>RETENIDO SOBRE ALPINE (ASTM E 11 - 70):</b>	
<b>MALLA 200</b>	<b>0 – 9 %</b>
<b>MALLA 400</b>	<b>25 – 75 %</b>
<b>ESPESOR (ISO 2360)</b>	<b>50 – 60 micrones</b>

(Arnum@2007)

Grafica 1. Curva de curado Epoxi.



(Arnum@2007)

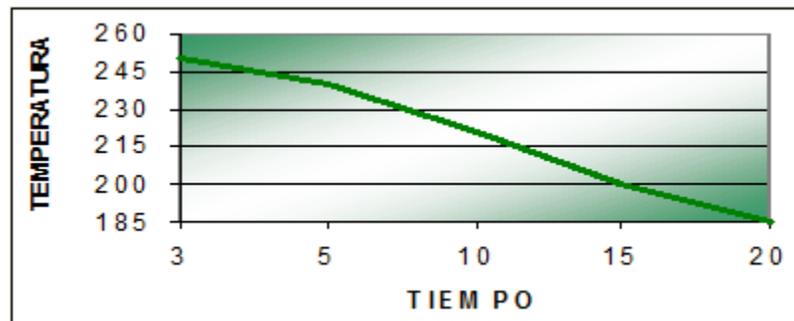
- La pintura poliéster-Tgic contienen resinas de poliéster endurecidas con triglicidil isocianurato. Las características esenciales de este tipo de pintura es la alta resistencia a la intemperie, con una alta retención de brillo, mantiene estables los colores y el acabado, tiene alta resistencia a los rayos ultra violetas y a la temperatura. En contraprestación a estos beneficios, la pintura poliéster-Tgic tiende a reventarse si se tiene una alta carga funcional, como lo pueden ser impactos y dobleces, también tiene menor resistencia a la oxidación y a los agentes químicos. Las aplicaciones más comunes para este tipo de pintura son: exteriores, zonas donde se genere calor y obras de arquitectura en la parte de acabados.

Tabla 2. Propiedades mecánicas Poliéster-Tgic.

<b>BRILLO GARDNER A 60 ° (ISO 2813)</b>	<b>Mínimo 85</b>
<b>ADHERENCIA: RESISTENCIA AL CUADRICULADO (ISO 2409)</b>	<b>100%</b>
<b>DUREZA KONIG (ISO 1522)</b>	<b>130 osc.(mín.)</b>
<b>DUREZA AL LÁPIZ ABNT (NBR 7527)</b>	<b>3 H</b>
<b>FLEXIBILIDAD AL MANDRIL CÓNICO (ISO 1519)</b>	<b>Resistente</b>
<b>ENSAYO DE IMPACTO (ASTM D 2794)</b>	<b>160 (mínimo)</b>
<b>RETENIDO SOBRE ALPINE (ASTM E 11 - 70):</b>	
<b>MALLA 200</b>	<b>0 - 9</b>
<b>MALLA 400</b>	<b>25 - 75</b>
<b>ESPESOR (ISO 2360)</b>	<b>50 -60 micrones</b>

(Arnum@2007)

Grafica 2. Curva de curado poliéster-Tgic.



(Arnum@2007)

- La pintura epoxi/poliéster contiene resinas poliéster, las cuales son endurecidas con resina epoxidicas. Las características esenciales de este tipo de pinturas es una mezcla de propiedades entre la pintura epoxi y la poliéster en menores proporciones pero de manera más homogénea en

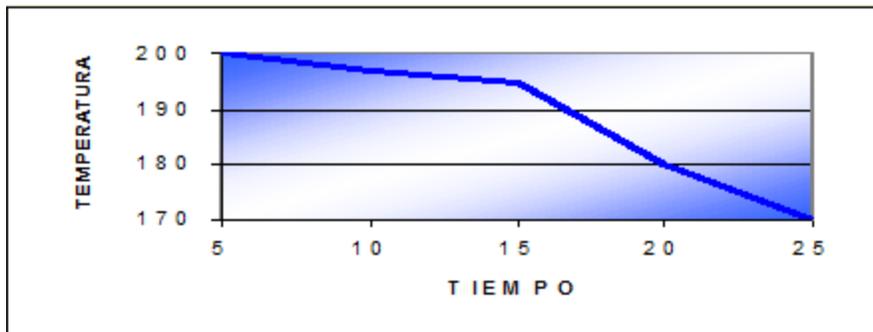
general. Ya que mezcla los beneficios de trabajos en intemperie con la resistencia a los impactos y la dureza de la epoxi. Las aplicaciones más comunes para este tipo de pinturas son: usos generales en interiores y decoración, usos en exteriores no muy prolongados.

Tabla3. Propiedades mecánicas epoxi/poliéster.

<b>BRILLO GARDNER A 60 ° (ISO 2813)</b>	<b>Mínimo 85</b>
<b>ADHERENCIA: RESISTENCIA AL CUADRICULADO ISO (2409)</b>	<b>100 %.</b>
<b>DUREZA KONIG (ISO 1522)</b>	<b>130 osc. (mín)</b>
<b>DUREZA AL LÁPIZ (ABNT NBR 7527)</b>	<b>3 H</b>
<b>FLEXIBILIDAD AL MANDRIL CÓNICO (ISO 1519)</b>	<b>Resistente</b>
<b>ENSAYO DE IMPACTO (ASTM D 2794)</b>	<b>160 ( mínimo )</b>
<b>RETENIDO SOBRE ALPINE (ASTME 11 - 70):</b>	
<b>MALLA 200</b>	<b>0 - 9</b>
<b>MALLA 400</b>	<b>25 - 75</b>
<b>ESPESOR (ISO 2360)</b>	<b>50 - 60</b>

(Arnum@2007)

Grafica 3. Curva de curado epoxi/poliéster.



(Arnum@2007)

Teniéndose clara la composición y las aplicaciones de los diferentes tipos de pintura, se realiza una tabla comparativa de las tres, teniendo en cuenta los factores y variables más importantes de desempeño, calificándose de 1 a 5, siendo 5 el mejor desempeño y 1 el peor.

Tabla 4. Comparación de desempeño tipos de pinturas.

<b>Variable</b>	<b>Epoxi</b>	<b>Epoxi/poli ester</b>	<b>Poliéster- Tgic</b>
<b>Dureza</b>	5	4	3
<b>Flexibilidad</b>	5	5	5
<b>Resistencia al exterior</b>	2	3	5
<b>Resistencia a la corrosión</b>	5	4	4
<b>Resistencia Química</b>	4	5	4
<b>Propiedades Mecánicas</b>	5	3	3
<b>Estabilidad de almacenamiento</b>	5	4	5
<b>Durabilidad</b>	2	3	4

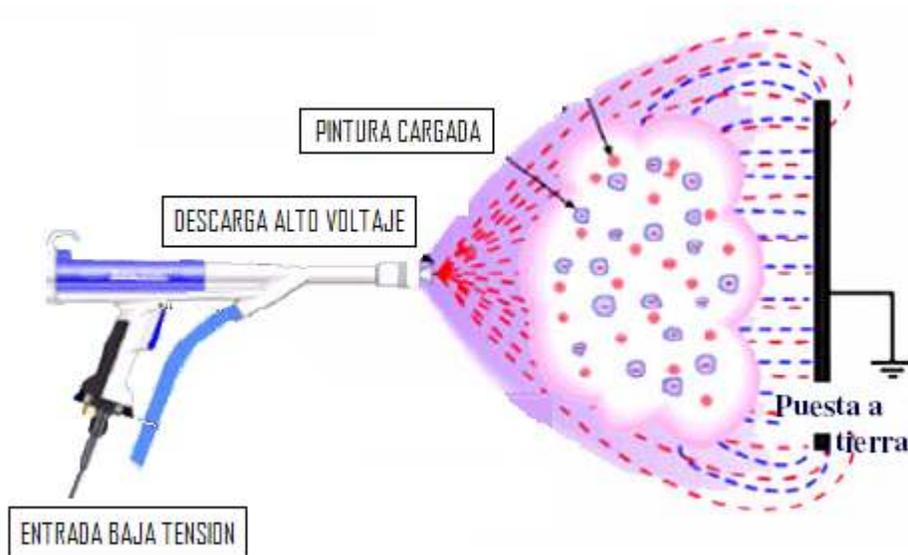
(Wiley, & Sons, 2002)

### 3.3. APLICACIÓN DE LA PINTURA ELECTROSTÁTICA.

Para aplicar la pintura en polvo electrostática a una superficie se basa en el principio de funcionamiento de un imán, en el cual dos cargas opuestas se atraen. La pintura es aplicada por equipos especializados para este fin, los cuales se encargan de transportar la pintura por mangueras a través de un sistema de vacío creado por aire comprimido a alta velocidad, hasta la pistola de aplicación. Estas pistolas de aplicación cargan eléctricamente la pintura con voltajes aproximados a los 90.000V y bajísimo amperaje, eliminando así el peligro a un choque eléctrico. Esta operación carga negativamente las partículas de la pintura.

La pieza que va a ser pintada se aterriza, con el fin de cargarse positivamente, y así, generar la atracción de la pintura a la misma.

Figura 1. Pistola de aplicación de pintura.



(Francescutti, 2007)

### 3.4. PROCESO DE CURADO EN LA PINTURA ELECTROSTÁTICA

El curado de la pintura electrostática sobre la pieza aplicada también es conocido como el proceso de polimerización, y básicamente consta de activar la reacción química del sistema de resinas por medio de calor. El perfecto balanceo del sistema de sustratos y el período en que la temperatura de este sustrato permanece en la especificación entregada por los boletines técnicos (específicos para cada línea de productos) determinará la perfecta nivelación y la performance especificada para los ensayos Físicos y Químicos. (Francescutti, 2007)

El esquema de curado hace referencia a las condiciones de horneado de la pieza pintada con pintura en polvo, esto es, temperatura y tiempo. Ambos parámetros son necesarios a la hora de considerar la implementación de un horno o la reforma de uno existente. Si se quiere obtener un pintado de las piezas satisfactorio es fundamental respetar las condiciones de cura dadas por el fabricante de la pintura. (Ver Grafico 1, Grafico 2, Grafico 3).

Para el correcto curado de estas pinturas es muy importante mantenerse en los rangos establecidos puesto que un sobre curado de las mismas puede traer consecuencias como cambio de color, disminución de brillo, manchado y disminución en las propiedades mecánicas. (Arnum@2007).

En la Inspección Final de Sistema de Pinturas se debe tener en cuenta como mínimo la evaluación de los siguientes factores:

- Medición de espesor de película: Las mediciones del espesor de película seca se efectúan después del curado completo de los recubrimientos, y determina si se ha alcanzado el espesor en el rango de aceptabilidad especificado. Es el único valor que puede verificarse en cualquier momento sin que se dañe el recubrimiento.
  
- Evaluación de la adhesión: La protección anticorrosiva del acero mediante el uso de recubrimientos depende de una buena adhesión de la pintura al sustrato. La prueba de adhesión según norma ASTM D 3359 es realizada por el método de corte (con navaja) en forma de cruz o de cuadrícula dependiendo del espesor de película seca del sistema de pinturas. Los resultados son de carácter cualitativo basados en una escala visual con seis niveles o grados de adherencia, evaluando el grado de resquebrajamiento a lo largo de los bordes de los cortes.
  
- Evaluación del curado:
  - Prueba del Papel lija, es especialmente aplicada en aquellas pinturas de gran dureza en su acabado. Cuando se lijan las pinturas forman un polvillo cuando están completamente curados, caso contrario, se vuelven pegajosos con el papel lija.
  
  - Prueba de Dureza con Lápiz (ASTM D 3363), en este ensayo se utilizan lápices de dureza con escala: 5B- 4B- 3B- 2B- B- HB- F- H- 2H- 3H- 4H- 5H. La dureza es la resistencia de una película al rayado o raspadura superficial. Se recomienda comenzar la

determinación por los lápices de menor dureza (B) hasta lograr cortar la película. El valor de dureza será aquel inmediatamente anterior al lápiz que causa el daño o logra cortar el recubrimiento. (De la cruz, 2004).

Tal vez la etapa más importante en una línea de pintura sea el curado de la pintura. Es la apariencia final de las piezas lo que determina, en un principio, la calidad del producto. Para esto es muy importante seleccionar el tipo de proceso adecuado de acuerdo a su actividad, teniendo en cuenta costos y niveles de calidad y producción que se requieren.

#### 4. HORNOS DE CURADO

Existe una clasificación principal de estos hornos de acuerdo al tipo de operación:

- **Convección:** Estos hornos consiguen llegar a la temperatura de curado a través del calentamiento del aire dentro del recinto donde se colocan las piezas. Para lograr esto, se pueden utilizar tanto quemadores de gas como resistencias eléctricas, y sistemas de recirculación de aire para generar la convección forzada.  
A su vez, estos hornos se pueden utilizar en forma estática (trabajo por tandas o lotes) o en forma continua (línea continua de producción).
- **Radiación:** La técnica que estos hornos utilizan para lograr la temperatura necesaria es la radiación infrarroja. La presencia de calor radiante es prácticamente imperceptible y el secreto de su funcionamiento reside en la absorción de la radiación por los objetos.
- Los hornos infrarrojos eléctricos son, por lo general, continuos debido a que las piezas deben estar en contacto directo con la radiación (situación que no es posible en los hornos por tandas convencionales).

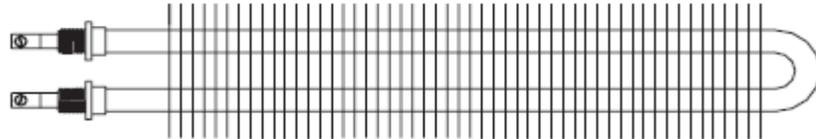
#### 4.1 HORNOS DE CURADO POR RESISTENCIA ELÉCTRICA Y CONVECCIÓN FORZADA.

Los hornos eléctricos son también conocidos como hornos electro-térmicos, de los cuales, el tipo más sencillo y de mas aplicación en la industria es el horno de resistencia, en el que se genera calor haciendo pasar una corriente eléctrica por un elemento resistivo que rodea el horno. En los hornos que se calientan desde el exterior, el elemento calefactor puede adoptar la forma de una bobina de alambre enrollada alrededor de un tubo de material refractario o puede consistir en un tubo de metal u otro material resistivo, como el carborundo. Los hornos de resistencia son especialmente útiles en aplicaciones cuya temperatura pueda controlarse de forma precisa.

Existen diferentes tipos de resistencias para diferentes aplicaciones, en donde su ubicación dentro del horno también cumple un papel fundamental en el desempeño del mismo. Las resistencias más comunes utilizadas en los hornos de curado por resistencia eléctrica son:

- Resistencia con aletas aluminizadas: Elementos que por la incorporación de aletas aluminizadas permite una gran transmisión de calor al ambiente. El tipo de aletas rectangulares y la gran conductividad térmica del aluminio, garantiza un mínimo gradiente térmico entre la temperatura superficial del tubo y la temperatura del aire. Temperatura Max de funcionamiento: 250°

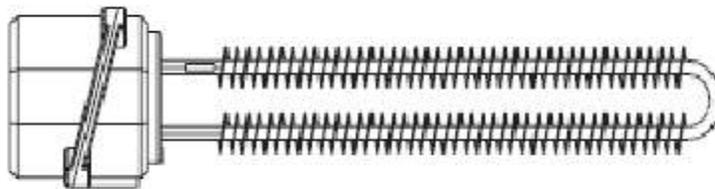
Figura2. Resistencia con aletas aluminizadas.



(TopResistance@2002)

- Resistencia con aletas helicoidales en acero inox: Elementos especialmente estudiados para el calentamiento de aire a temperaturas elevadas. Admite una temperatura máxima del aire a 400° con convección forzada. Su aleteado helicoidal construido con flejes de acero inoxidable, le permite soportar altas temperaturas y resistir agresiones de tipo químico. Son muy utilizadas para hornos de curado y para calentamiento de gases corrosivos.

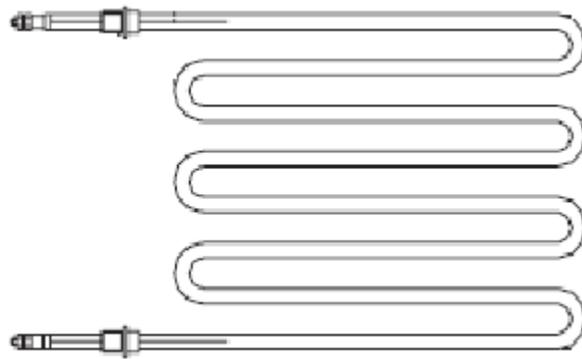
Figura 3. Resistencia con aletas helicoidales en acero inox.



(TopResistance@2002)

- Resistencia blindada tipo doble M: Elementos especialmente estudiados para el calentamiento de aire a una temperatura máxima de 400° con convección forzada mínima de 3m/s. Su especial constitución sin aletas permite obtener una eficaz circulación de aire con bajas pérdidas como al mismo tiempo le permite soportar altas temperaturas y resistir agresiones de tipo químico. Son muy utilizadas para hornos industriales y baterías.

Figura 4. Resistencia blindada tipo doble M.

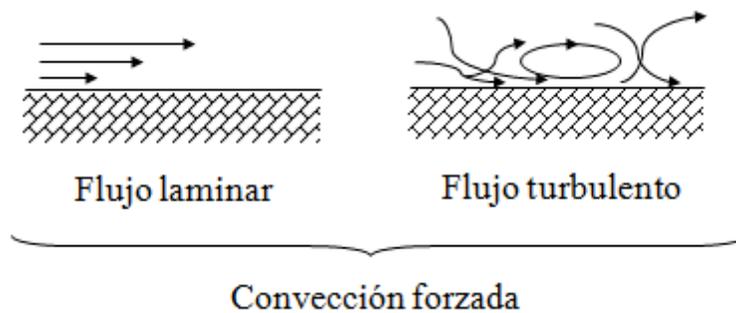


(TopResistance@2002)

Además de la resistencia eléctrica encargada de suministrar la energía calorífica al interior del horno, se necesita aire circundante, el cual será el encargado de homogenizar la temperatura dentro del horno, y a su vez, optimizará la convección que exista entre el aire que circula por la resistencia y la convección que se genera entre el mismo aire circundante y la pieza a la cual le ha sido aplicada la pintura electrostática. Este principio de funcionamiento se basa en la teoría de transferencia de calor por convección forzada.

Cuando un fluido caliente se mueve en contacto con una superficie fría, el calor se transfiere hacia la pared a un ritmo que depende de las propiedades del fluido y si se mueve por convección forzada, se dice que puede ser por flujo laminar o por flujo turbulento. (KGalsgaa,1999)

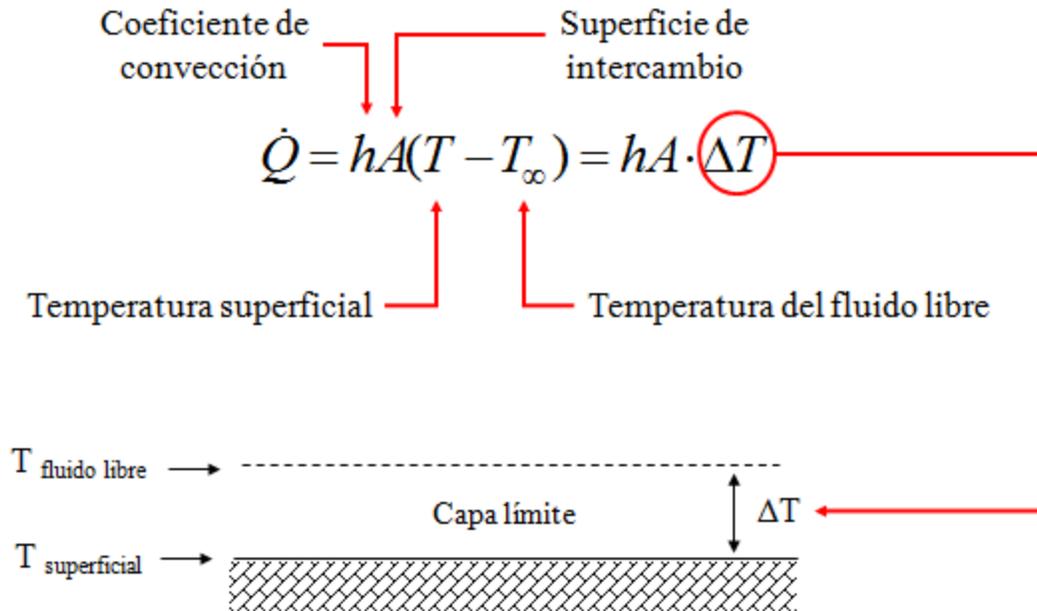
Figura 5. Convección forzada.



(KGalsgaa,1999)

La convección es un fenómeno de transporte (materia y energía) que tiene su origen en diferencias de densidad. Cuando un fluido se calienta, se expande; en consecuencia su densidad disminuye. Si una capa de material más fría y más densa se encuentra encima del material caliente, entonces el material caliente asciende a través del material frío. El material ascendente disipará su energía en el entorno, se enfriará y su densidad aumentará, con lo cual se hundirá reiniciando el proceso.

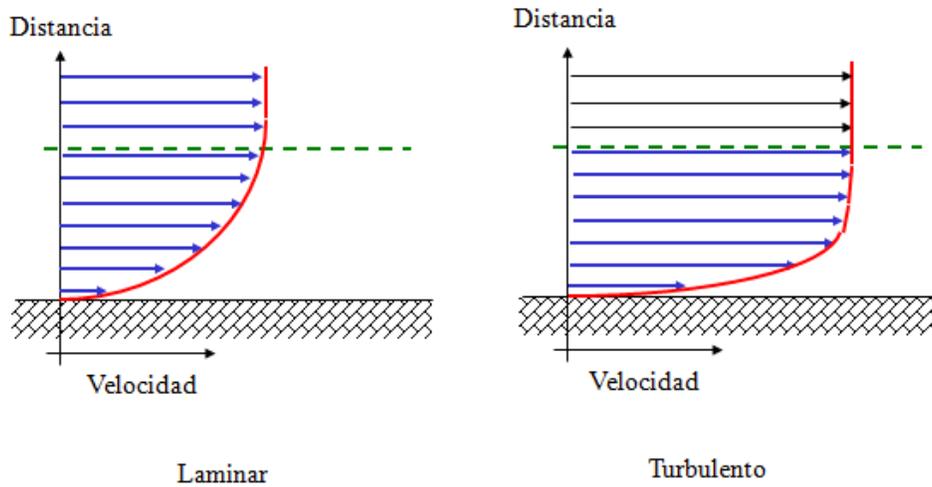
Ecuacion 1. Ley de enfriamiento de Newton.



(KGalsgaa,1999)

Si se tiene flujo laminar o flujo turbulento, varían las propiedades de la convección debido a que afecta la distancia que recorre el fluido a la misma velocidad en ambos casos, siendo mayor la distancia recorrida por el flujo turbulento. Esto hace que sea más homogénea la transferencia de calor para el flujo turbulento como se puede apreciar en la figura 5.

Grafica 4. Perfiles de velocidad



(KGalsgaa,1999)

Como las piezas aplicadas de pintura electrostática para el caso particular de la industria de los elevadores, no presentan formas iguales, se debe fundamentar su funcionamiento en los principios de transferencia de calor para objetos sumergidos en fluidos, en este caso el aire, teniendo en cuenta las diferencias teóricas que existen entre los diferentes tipos de formas.

Cuando existe transferencia calórica hacia o desde un objeto alrededor del cual circula un fluido, se procede de manera análoga a lo planteado para flujo en conductos definiéndose un coeficiente de transferencia calórica según:

Ecuación 2. Coeficiente de transferencia calórica.

$$Q = h_m A (T_0 - T_\infty)$$

(Incropera, 1999)

Donde A es el área de transferencia,  $T_0$  es la temperatura media de la superficie del sólido y  $T_\infty$  es la temperatura del fluido lejos del sólido.

También en estos sistemas se puede definir un coeficiente local de transferencia de energía según:

Ecuación 3. Coeficiente local de transferencia.

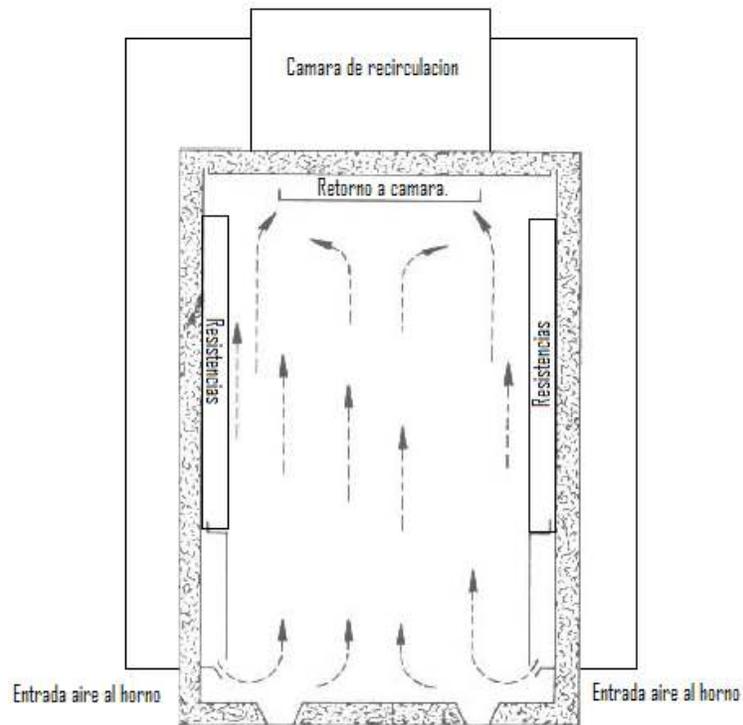
$$dQ = h_{loc} (T_0 - T_\infty) dA$$

(Incropera, 1999)

Donde  $T_0$  es la temperatura de la superficie del sólido en un punto de superficie dA.

Para que se dé la convección forzada, los hornos requieren de moto-ventiladores en su interior, dispuestos de manera especial en cámaras sellada de recirculación para conservar el continuo movimiento del aire al interior del horno. (Figura 5).

Figura 5. Flujo del aire al interior del horno



(Caltec@2008)

La cámara de recirculación es la encargada por medio de ductos laterales de inducir el aire al interior del horno, en el cual se calienta gracias a las resistencias eléctricas ubicadas en los laterales del mismo. Al calentarse el aire y disminuir su densidad, tiende a subir, además de esto el vacío generado dentro de la cámara por el aire que está saliendo de la misma y que se induce al interior del horno genera un efecto de vacío que ayuda a succionar el aire en la parte de arriba entrando nuevamente a la cámara de recirculación. Y así sucesivamente se repite el ciclo para mantener el aire en constante movimiento y optimizar el proceso de transferencia de calor a las piezas por el método de convección forzada anteriormente descrito.

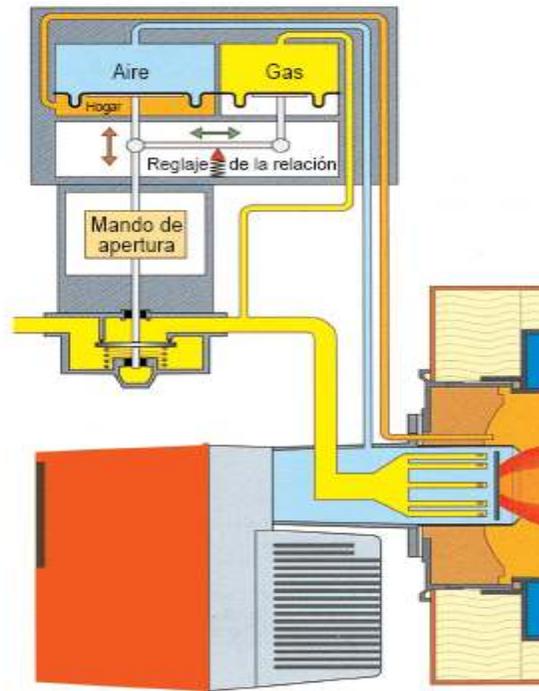
La eficiencia que tienen estos hornos para transferir el calor generado por las resistencias eléctricas depende netamente del movimiento del fluido que genera este sistema. Por esto es de alta importancia tener claro el caudal y la velocidad del aire que se debe circular dentro del mismo, y también la distancia entre la inducción del aire a las resistencias eléctricas y a las piezas que se quieren curar.

#### 4.2. HORNOS A GAS POR CONVECCIÓN FORZADA

Los hornos a gas por convección forzada son muy similares a los de resistencia eléctrica por convección forzada, la diferencia es la fuente de la energía calorífica que se va a transferir a las piezas que se desean curar. Para los hornos a gas el elemento que nos entregara esta energía calorífica se llama quemador.

Los quemadores son equipos que se encargan de generar una combustión entre el gas y el oxígeno en su interior, ocasionando a su vez una llama, la cual posteriormente calentará el aire que se inducirá al horno. Los quemadores para este tipo de aplicaciones son muy similares y varían en tamaños y potencia de acuerdo al fabricante y a la necesidad que se requiera.

Figura 6. Quemador a gas.



(Cuenod@,2009)

Las variables a tener en cuenta para conseguir la temperatura deseada para las diferentes aplicaciones son:

- Potencia térmica (Kw)
- Consumo de gas ( $m^3/h$ )
- Potencia eléctrica del motor (Kw)
- Alimentación eléctrica (V)

- Dimensiones y peso.

Además de estas variables también se tienen que garantizar unas condiciones especiales para el buen funcionamiento de estos equipos como lo son:

- Una perfecta estabilidad de la mezcla aire-gas.
- Un nivel de CO<sub>2</sub> elevado y constante en todo el campo de carga del quemador.
- El control preciso del exceso de aire, fundamental para un funcionamiento óptimo de los generadores de condensación.
- Eliminar las variaciones positivas y negativas de la presión del gas.
- Eliminar las variaciones del caudal de aire debidas a las fluctuaciones de la tensión de la red eléctrica y al cambio de presión atmosférica.
- Preservar la carga en función de las variaciones de la presión del hogar, sobre todo durante los períodos de encendido.

Para poder garantizar estas condiciones, se deben tener en cuenta conceptos de combustión y de manejo de las variables que se presentan dentro de esta ecuación.

El modelo utilizado para el análisis de combustión se basa en metano, principal componente del gas natural, y como oxidante el aire, constituido por oxígeno y nitrógeno. Se desprecia el argón y trazas de otros constituyentes. Las condiciones de los reactantes, excepto en el precalentamiento del aire, son 298,15 K y 1atm.

La máxima temperatura que pueden alcanzar los productos de combustión es la temperatura adiabática de llama. Es la temperatura que se obtiene si todo el calor desarrollado durante el proceso se utiliza integralmente para calentar los productos. El procedimiento de cálculo de la temperatura de llama adiabática, considerando los fenómenos de disociación, se lleva a cabo por iteración de la temperatura de los productos hasta que se cumpla la siguiente expresión:

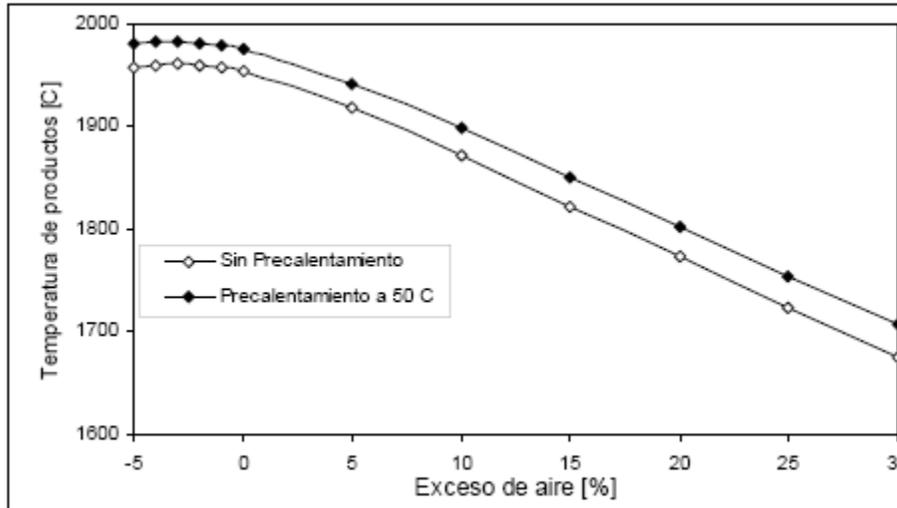
Ecuación 4. Entalpías reactantes y de productos.

$$H_{\text{reactantes}} = H_{\text{productos}}$$

(Serrano, 2005)

En la ecuación 4 la  $H_{\text{reactantes}}$  se refiere a la entalpía del combustible y del aire que hacen parte del proceso de combustión. Cuando toda esta energía es empleada para elevar la temperatura de los humos de combustión, sin pérdidas de calor hacia el medio, los productos alcanzarán una entalpía  $H_{\text{productos}}$  igual a la de los reactantes, y por ende, obtendrán su máxima temperatura. (Serrano, 2005)

Grafica 5. Influencia en la temperatura por exceso de aire.



(Serrano, 2005)

La grafica 5 presenta la variación de la temperatura máxima de los productos de combustión en función del exceso de aire de la combustión. Se observa que la máxima temperatura ocurre para una condición de mezcla rica o defecto de aire del 3%. Aunque comúnmente se asocia la temperatura adiabática de llama a la condición estequiométrica o de cero exceso de aire, para la condición real de disociación de especies mayores ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ) y formación de especies menores ( $\text{CO}$ ,  $\text{HO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ , entre otras) la máxima temperatura adiabática ocurre en una mezcla ligeramente rica porque el calor específico de los productos se reduce permitiendo el incremento de la temperatura. (Kuo, 1986).

Nótese la influencia del precalentamiento del aire de combustión. Cuando este aire ingresa no a  $25^\circ\text{C}$  sino a  $50^\circ\text{C}$ , las temperaturas de llama se incrementan, lo que redundará en mayor calor adicionado a la carga y a la reducción en los consumos energéticos del proceso. No menos importante es el control del exceso de aire debido a que un incremento desmesurado de este ocasiona una caída drástica en las temperaturas de llama.

Los productos de combustión poseen una energía térmica de acuerdo a su temperatura. Esta energía o calor disponible  $Q_{disp}$ , entendido como la cantidad de energía que puede ser convertida en energía útil, es tanto mayor, entre más fríos salen los gases de combustión del proceso de calentamiento de una carga, lo que indica un aprovechamiento notable de la energía térmica. El calor disponible está definido como:

Ecuación 4. Calor disponible.

$$Q_{disp} = PCS - Q_{gases}$$

(Serrano, 2005)

Donde PCS: es el poder calorífico superior del combustible.

$Q_{gases}$  : es la energía contenida en los gases de combustión, igual a la entalpía de productos a la temperatura de interés  $H_{prod@T}$  menos la entalpía de los productos a 298,15 K,  $H_{prod@298,15}$ .

La eficiencia de un quemador está asociada a la energía química que es posible ser transformada en calentamiento de los productos de combustión, y es el 100% si toda la energía química almacenada en el combustible es convertida en calor disponible para el proceso. Si se conoce la temperatura de los reactantes y su entalpía  $H_{react}$  y la temperatura de los productos de combustión inmediatamente a la salida del quemador y su energía contenida  $H_{prod}$ , se puede definir la eficiencia como:

Ecuación 5. Eficiencia de la combustión en un quemador a gas.

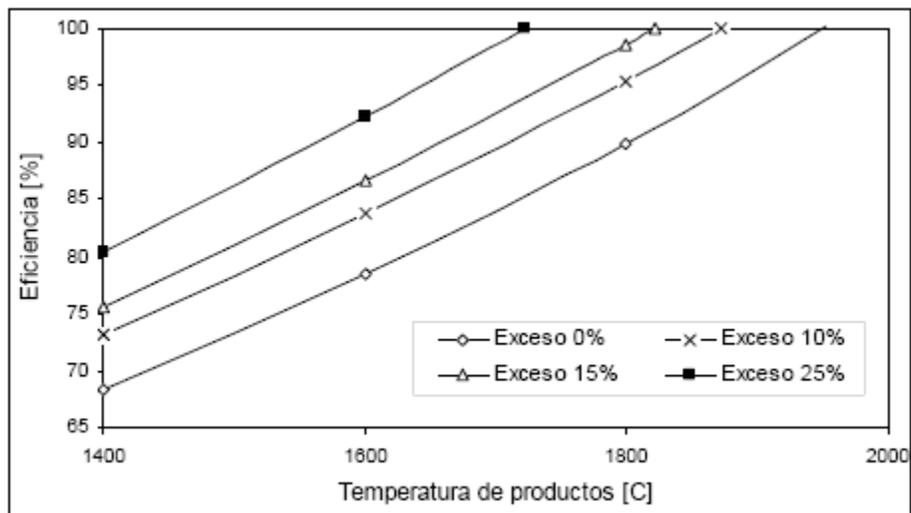
$$n_{comb} = \frac{PCS - (H_{prod} - H_{react})}{PCS} * 100\%$$

(Serrano, 2005)

La Ecuación 5 muestra el comportamiento de la eficiencia de combustión de acuerdo a la temperatura que poseen los gases inmediatamente a la salida del quemador.

Obsérvese cómo para un exceso de aire definido, la eficiencia incrementa a medida que la temperatura de los gases se eleva. Lo anterior quiere decir que una alta temperatura de los productos de combustión, directamente en la salida del quemador, constituye un indicativo del menor impacto de las pérdidas caloríficas debido a la formación de agua en forma de vapor H<sub>2</sub>O (v), a la disociación de especies a través de reacciones que son endotérmicas y a las pérdidas de calor en la llama radiante. (Serrano, 2005).

Grafica 6. Eficiencia de combustión.



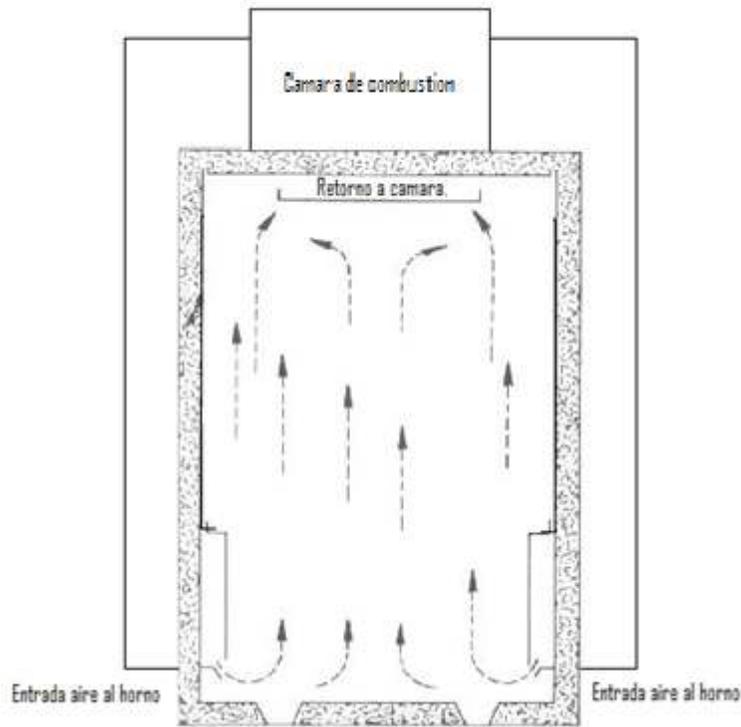
(Serrano, 2005)

Cuando se comparan a una misma temperatura de productos, las combustiones para diferentes excesos de aire, la interpretación es de la siguiente manera. Una combustión sin exceso cuyos productos estén a la misma temperatura de una combustión con exceso y bajo la misma adición calórica por unidad de combustible *PCS*, indica que el quemador es más eficiente. Y esto es claro porque el exceso de aire es una carga térmica que igualmente necesita ser calentada hasta el nivel de temperatura analizado, por ende, ocurre una mejor utilización de la energía del portador energético.

Además de los quemadores a gas encargados de suministrar la energía calorífica al interior del horno, se necesita aire circundante al igual que con los hornos por resistencia eléctrica utilizando los mismos principios de transferencia de calor. Este a su vez, será el encargado de homogenizar la temperatura dentro del horno, y así, potenciar la convección que exista entre el aire caliente que baja de la cámara de combustión por los ductos hacia la pieza.

Para que se dé la convección forzada es necesario que los hornos posean moto-ventiladores en el sistema, dispuestos de manera similar al de los hornos por resistencia eléctrica, con la diferencia de que en las cámaras de circulación es donde están ubicados los quemadores, y no en el interior del horno; esto con el fin de evitar que la llama del quemador golpee directamente la piezas que se desea curar. Es por esto que para este tipo de hornos las cámaras de re-circulación también son conocidas como cámaras de combustión. El movimiento del aire es igual al de los hornos de resistencia eléctrica para generar la convección forzada, como se ilustra a continuación:

Figura 7. Flujo de aire al interior del horno



(Caltec@2008)

La cámara de combustión es la encargada por medio de los moto-ventiladores a través de los ductos laterales de inducir el aire al interior del horno, en el viene caliente desde la cámara por el efecto de los quemadores en la misma. Al ingresar el aire caliente disminuir su densidad, tiende a subir, además de esto el vacío generado dentro de la cámara por el aire que está saliendo de la misma y que se induce al interior del horno genera un efecto de vacío que ayuda a succionar el aire en la parte de arriba entrando nuevamente a la cámara de combustión. Y así sucesivamente se repite el ciclo para mantener el aire en constante movimiento y optimizar el proceso de transferencia de calor a las piezas por el método de convección forzada anteriormente descrito.

El aire que entra nuevamente a la cámara de combustión ya ha perdido parte de su energía calorífica, por lo que los quemadores a su ingreso recalientan nuevamente este aire para volver a realizar el ciclo.

La eficiencia que tienen estos hornos para transferir el calor generado por los quemadores a gas depende netamente del movimiento del fluido que genera este sistema. Por esto es de alta importancia tener claro el caudal y la velocidad del aire que se debe circular dentro del mismo, y también la distancia entre la inducción del aire a las resistencias eléctricas y a las piezas que se quieren curar.

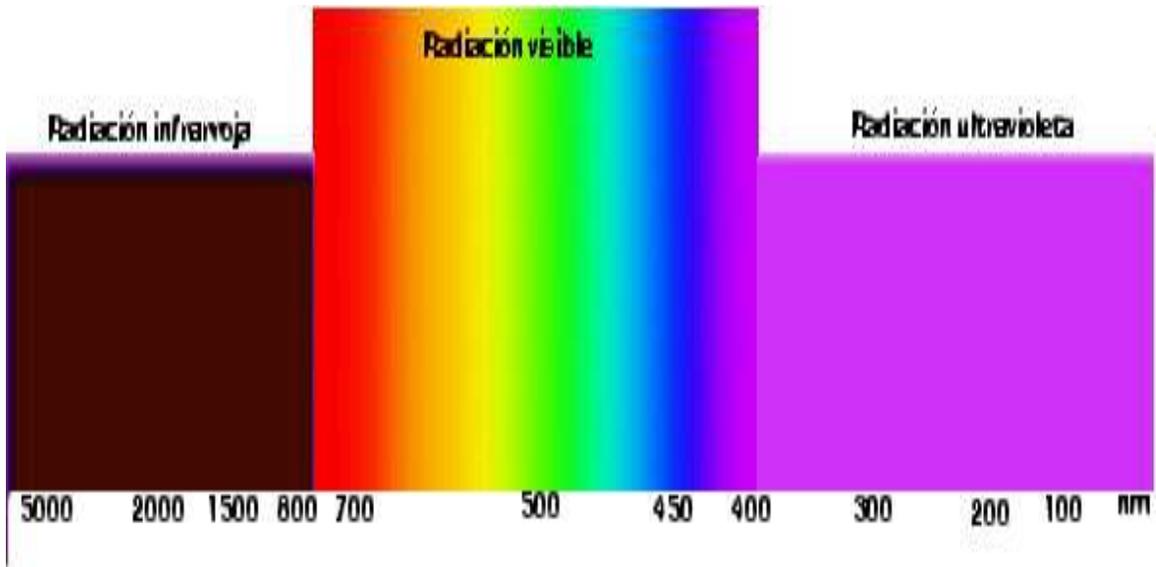
### 4.3 HORNOS DE PANELES INFRARROJOS

La técnica infrarroja ofrece ventajas importantes para determinados procesos industriales de secado, en los que resulta mucho más efectiva comparada con sistemas de calentamiento por convección. El campo de aplicación se encuentra entre otros, en procesos de curado o cocción de esmaltes, pinturas en polvo y epóxicas; secado de agua, solventes, tintas, adhesivos; calentamiento, termoformado, moldaje e incubado.

Si se necesita secar pintura sobre metal, madera, plástico u otro sustrato, o necesita secar algún material, es muy posible que la técnica infrarroja le ofrezca las mayores ventajas en cuanto a efectividad y velocidad de secado.

La calefacción infrarroja consiste en la transferencia de energía térmica desde una fuente a un material, cuerpo o recubrimiento, por radiación electro-magnética. Esta energía radiante puede ser producida por diversas fuentes, tales como las ultravioleta, de radio frecuencia, o infrarrojas. Puesto que esta energía no requiere de un vehículo de transporte del calor como es el aire en los hornos por convección, los hornos infrarrojos son más efectivos por su rapidez y menor costo operacional. (Bossman, 2000)

Figura 8. Espectro de radiación.



(Mckellar@2002)

La energía infrarroja es radiada a través del aire en forma de ondas electromagnéticas, y tal como la luz es direccional y puede ser enfocada, reflejada y absorbida por un cuerpo cercano. No depende del aire para su transmisión y es convertida en calor principalmente por absorción en la pieza expuesta a la radiación. De hecho el aire absorbe muy poca radiación infrarroja.

No toda la energía infrarroja es absorbida por un material, un cuerpo o una superficie. Parte de ella será reflejada o transmitida. La cantidad de energía que es absorbida, reflejada o transmitida, varía con la longitud de onda de la radiación (que depende de la temperatura de radiación), con el material y con la superficie de este último.

La cantidad de energía radiante emitida por una fuente de calor es proporcional a la temperatura de su superficie y a la emisividad del material, tal como describe la Ley de Stefan Boltzmann. Mientras más alta es la temperatura de la fuente, mayor es la radiación que emite y mayor es su eficiencia.

Ecuación 6. Ley de Boltzmann.

$$Q_{emitida} = \sigma A_s T_s^4$$

(Incropera, 1999)

Donde:  $\sigma = 5.67 \text{ E-}8 \text{ W/ (m}^2\text{k}^4\text{)}$  constante de Boltzman

$A_s$  es el área de la superficie emisora.

$T_s$  es la temperatura de la superficie emisora

La capacidad de una superficie para emitir y para absorber radiación es definida por su emisividad. Una fuente ideal o cuerpo negro irradia o absorbe el 100% de toda la energía radiante, teniendo por lo tanto un valor de emisividad igual a 1. En la práctica, todos los cuerpos son grises; tienen un factor de emisividad o absorción menor que 1.

Ecuación 7. Calor emitido.

$$Q_{emitida} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4$$

(Incropera, 1999)

Donde:  $\sigma = 5.67 \text{ E-8 W/ (m}^2\text{k}^4)$  constante de Boltzman

$A_s$  es el área de la superficie emisora.

$T_s$  es la temperatura de la superficie emisora

$\varepsilon$  Es el valor de la emisividad

En la práctica, se puede considerar un pobre emisor como un pobre absorbedor de radiación infrarroja. Tal como muestra la tabla que sigue y tomando el caso del aluminio pulido, es un muy pobre emisor ( $\varepsilon = 0,04$ ); cuesta mucho calentarlo con energía infrarroja. En cambio el esmalte, de cualquier color, tiene una alta emisividad ( $\varepsilon = 0,85$  a  $0,91$ ) y es fácilmente calentado. (Bossman, 2000).

Tabla 5. Tabla de emisividad.

Material	Pulido	Opaco	Oxidado
Aluminio	0,04	0,055	0,11 - 0,19
Bronce	0,03	0,06 - 0,2	0,6
Cobre	0,018 - 0,02	-	0,57
Oro	0,018 - 0,035	-	-
Hierro	0,12 - 0,40	0,75	0,80 - 0,95
Acero inoxidable	0,11	0,57	0,80 - 0,95
Plomo	0,057 - 0,075	0,28	0,63
Níquel	0,45 - 0,87	-	-
Plata	0,02 - 0,035	-	-
Estaño	0,04 - 0,065	-	-
Zinc	0,045 - 0,053	-	0,11
Hierro galvanizado	0,228	-	0,276
Ladrillo	0,75 - 0,93	-	-
Carbón	0,927 - 0,967	-	-
Roble plano	0,895	-	-
Papel	0,924 - 0,944	-	-
Plástico	0,86 - 0,95	-	-
Porcelana esmaltada	0,924	-	-
Cuarzo	0,932	-	-
Refractarios	0,65 - 0,91	-	-
Goma	0,86 - 0,95	-	-
Agua	0,95 - 0,963	-	-
Barniz	0,8 - 0,95	-	-
Esmalte	0,85 - 0,91	-	-
Oleos	0,92 - 0,96	-	-
Pintura aluminio	0,27 - 0,67	-	-

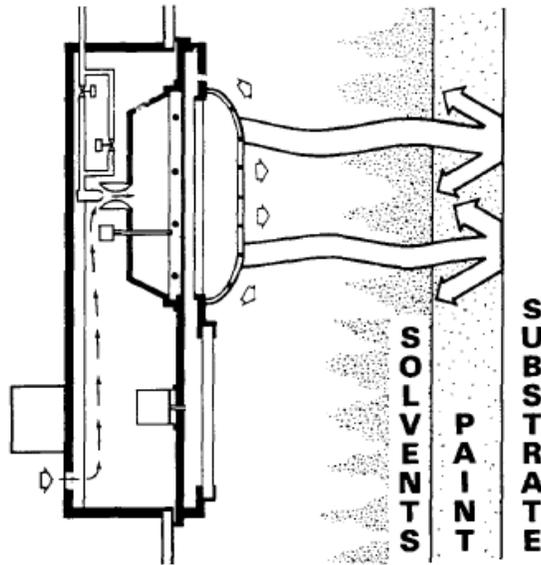
(Bossman, 2000)

Es por esta razón que el secado o curado de pintura, u otros procesos tales como los que se mencionan al comienzo, encuentran en las técnicas infrarrojas un lugar preferente de tratamiento. Una vez que la energía infrarroja es absorbida por el recubrimiento aumentando su temperatura, este calor es traspasado al sustrato, aluminio en el ejemplo, por conducción. Dado que los metales tienen una alta conductividad térmica, el calor aportado por la conducción se distribuye rápidamente por toda su estructura interna. De aquí se corrige que lo que pudiera haberse considerado una pérdida de energía, en realidad se convierte en un aporte, no solo porque colabora en el proceso sino porque además permite que aquellos sectores de las piezas, escondidos a la radiación infrarroja, alcancen igualmente la temperatura necesaria.

Esta radiación al interior del horno es generada por paneles infrarrojos catalíticos, los cuales funcionan por medio de la reacción química que existe entre el gas, la membrana catalizadora y el oxígeno circundante. Esta reacción no produce llama por lo cual, pueden encontrarse al interior del horno sin generar ningún tipo de contaminación.

En el interior del panel infrarrojo se encuentra una resistencia eléctrica encargada de precalentar el panel. Esta resistencia permanece encendida alrededor de 15 minutos. Cuando el panel se encuentra caliente se apaga la resistencia y se da paso por medio de una electroválvula al gas. El gas se calienta al interior del panel y comienza a salir de manera homogénea del mismo, traspasando una membrana cerámica, la cual está impregnada de un catalizador químico. Al salir el gas caliente por la membrana catalizadora y encontrarse el oxígeno al exterior del mismo, se produce la reacción química (sin llama) que da como consecuencia la radiación calorífica.

Figura 9. Emision de calor panel infrarrojo.



(Franklin@2005)

Al emitir la radiación infrarroja, las ondas viajan a la velocidad de la luz hacia la pieza cubierta de pintura electrostática, y su temperatura es directamente proporcional a la longitud de onda. La porción absorbida de la radiación es convertida en energía térmica por los materiales receptores. (Villa, 2007).

Está compuesto por cuatro zonas de calentamiento y un tren de gas principal. Cuenta con dos ventiladores: Ventilador de Extracción y ventilador de Recirculación.

Este equipo no controla temperatura. Controla potencia entregada por los paneles por medio de recetas.

Figura 10. Panel infrarrojo catalítico.



(Premac@2009)

El emisor catalítico consiste en un panel que tiene como componentes principales:

- Resistencias Eléctricas.
- Manta Catalítica.
- Termóstato.
- Boquilla de entrada de Gas.
- Oxígeno.

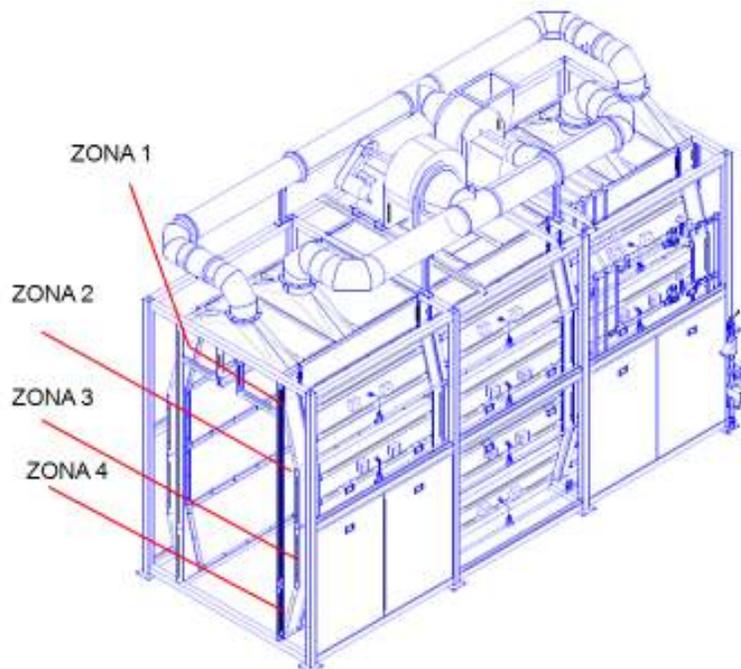
En el emisor catalítico ocurre una reacción química donde participa cada uno de los elementos mencionados anteriormente.

Para que esta reacción ocurra debe haber una temperatura de 210° F. La resistencia eléctrica es quien hace que la temperatura llegué a este valor y el termóstato censa que este valor sea el correspondiente cerrando un contacto e informando al sistema de control que la secuencia de funcionamiento puede continuar.

El sistema de control luego de recibir la señal del termóstato acciona un mecanismo para permitir el ingreso de combustible (Gas natural) que al hacer contacto con la manta catalítica a 210 F y el oxígeno que circula a través de la superficie del emisor se inicia la reacción que libera la energía infrarroja.

Como se menciona anteriormente el equipo cuenta con 4 zonas de calentamiento designadas así:

Figura 11. Zonas de calentamiento de horno catalítico



(Premac@2009)

El control del equipo se hace por medio de recetas, donde la receta es un porcentaje que se ingresa por medio de una pantalla táctil. Este valor es un porcentaje el cual me indica un tiempo en alto fuego y un tiempo en bajo fuego. Durante el tiempo en alto fuego el sistema de control permitirá que el panel opere a máxima potencia y durante el tiempo en bajo fuego los paneles operaran a mínima potencia.

Es esta combinación de tiempos (alto y bajo fuego) lo que determina la energía infrarroja.

Por ejemplo, si se selecciona una receta del 80% quiere decir que el horno operara 80% de tiempo en alto fuego y 20% en bajo fuego.

El horno cuenta con capacidad para manejar 10 recetas. Donde la receta 1 corresponde a 10%, la receta 2 corresponde al 20 % y así sucesivamente.

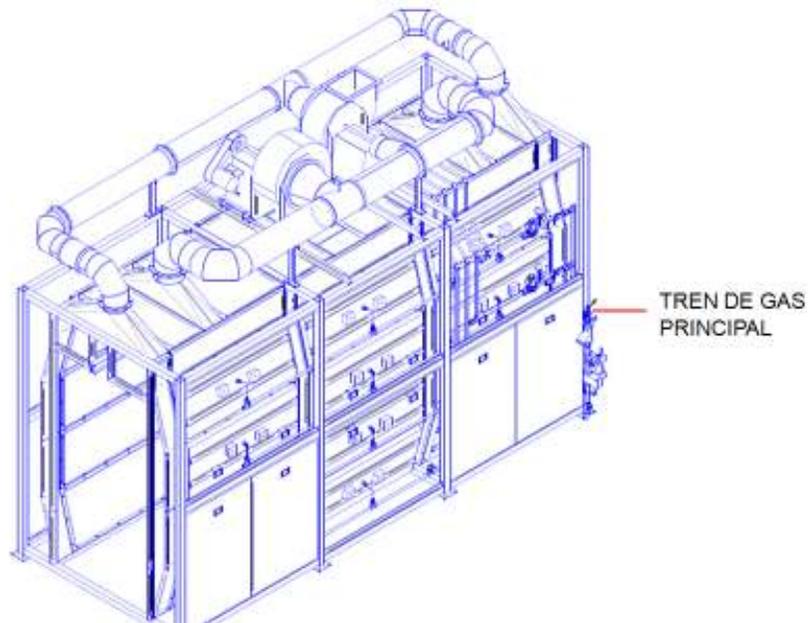
También cuenta con un bloque multiválvulas, regulador de gas, suiche de baja presión de gas, suiche de alta presión de gas, vps, manómetro del alta, manómetro de baja.

Bloque multiválvulas: Compuesto por dos válvulas solenoides en serie, me permiten el paso de gas hacia las zonas de calentamiento.

Suiche Baja presión de gas: Es quién garantiza que exista una presión mínima de trabajo para el equipo.

Suiche Alta presión de gas: Garantiza una presión máxima para el trabajo del equipo formando así un rango de trabajo con el suiche de baja presión de gas.

Figura 12. Tren de gas principal de horno catalítico



(Premac@2009)

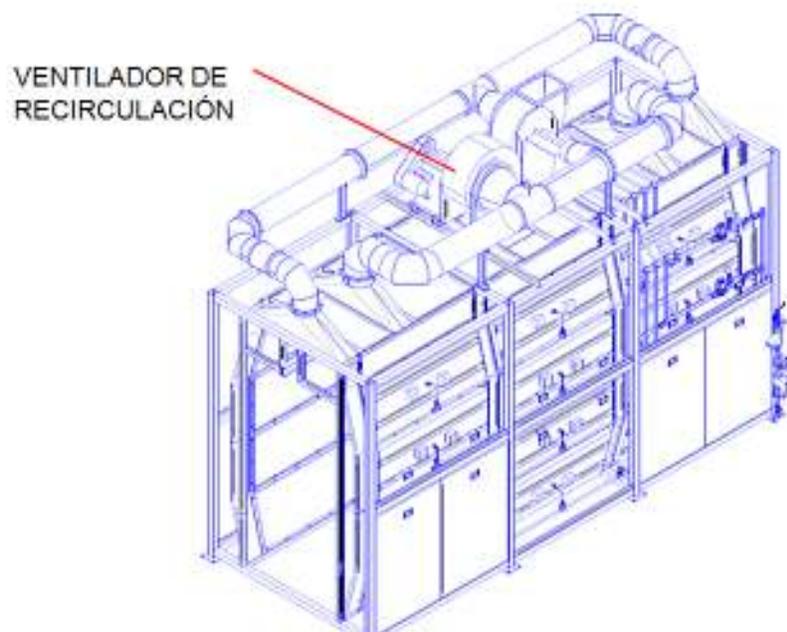
Está compuesto por:

- VPS: Es un dispositivo ubicado en el bloque multiválvulas y se encarga de verificar hermeticidad entre las válvulas solenoides.
- Regulador de Gas: Regula la presión de la red de gas principal a una presión de trabajo.
- Manómetro de alta: Este manómetro me indica la presión antes del regulador de gas.

- Manómetro de Baja: Este manómetro me indica la presión después del regulador de gas.

El ventilador de recirculación está ubicado en la parte superior del horno y su función es recircular aire al interior del horno con el fin de llevar aire a cada panel para que ocurra la reacción.

Figura 13. Ventilador de recirculación de horno catalítico



(Premac@2009)

## 5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS HORNOS PARA CURADO

### 5.1. HORNO ELECTRICO DE BACHE POR CONVECCIÓN FORZADA

Figura 14. Horno de bache por convección forzada



(Powdertronic@2008)

La aplicación de estos hornos es para el horneado de pintura, secado y calentamiento de todo tipo de producto y para cualquier tipo de tratamiento térmico hasta 650°C que requiera uniformidad de temperatura con circulación forzada de aire.

Las dimensiones de estos hornos permiten la carga y descarga con carros, o a mano ingresando a ellos.

Características:

- Recirculación de aire de alta presión.
- Registro para ajustar la circulación de aire.
- Gran capacidad de calefacción.
- Registro para salida de aire saturado y para entrada de aire fresco.
- Estructura soporte concebida para absorber los esfuerzos en forma adecuada.
- Excelente uniformidad de temperatura en la cámara de trabajo.
- Las puertas abisagradas, de robusto diseño y tienen cierre hermético, garantizado con junta perimetral.
- Para temperaturas mayores de 450 °C el interior se construye con chapa AISI 304, 310 ó 316 según necesidad.
- Para temperaturas menores de 450 °C el interior se pinta con aluminio para muy alta temperatura.
- La calefacción es por medio de resistencias eléctricas.

- El grupo calefactor y el recirculador podrán ubicarse en la parte superior o posterior del equipo según sea el tipo de circulación de aire adoptado y las necesidades de carga y uso del horno.
- El gabinete del tablero eléctrico es exterior, tiene puerta con cerradura y contiene los elementos de control, comando y potencia necesarios para el desarrollo de procesos.

Opcionales:

- Cualquier tipo de control automático de temperatura.
- Sistema de seguridad por exceso de temperatura.
- Alarma acústica y óptica.
- Puerta de tipo guillotina u otra.

Las especificaciones eléctricas son:

- Panel de control
  - Terminales de potencia.
  - Control de temperatura.
  - Interruptores de calefacción y ventilación.
  - Luz piloto.

- Elementos protectores de calefacción en caso de falta de ventilación o altas temperaturas.

Las especificaciones Mecánicas son:

- Motor
  - Alta Eficiencia 10 HP.
  - 3600 RPM
- Calefacción
  - Panel aislado.
  - Cubierta extraíble.
- Aislamiento
  - Temperatura máxima de servicio 1200°F.
  - Aislamiento en paredes, techo y piso.
- Juntas
  - Fibra de vidrio de alta temperatura.
  - Temperatura máxima de servicio 1000°F.

- Carcasa
  - Refuerzos puestos en las extremidades del aislamiento.
  
  - Ruedas guía.
  
- Bisagras
  - Entre 3 y 4 bisagras de calibre industrial.

Se puede optar por agregar algunas características especiales como lo son:

- Alarma relé, alarma de luz y alarma vibradora.
  
- Detector de puertas abiertas.
  
- Registrador gráfico.
  
- Reloj digital.
  
- Controlador programable de temperatura.
  
- Controlador de potencia.
  
- Escape de potencia.
  
- Guardia de termocupla.
  
- Guardia de motor.
  
- Guardia eje.

- Puertas corredizas.
- Dispositivo de apertura de puertas automático.

Las especificaciones técnicas de este horno fueron tomadas de la referencia que más se ajusta a las necesidades de un horno de curado para la industria de elevadores teniendo en cuenta los escenarios requeridos dentro de la misma.

Tabla 6. Especificaciones técnicas Horno eléctrico.

	<b>Horno Eléctrico bache</b>
<b>Dimensiones (HxDxW) (mm)</b>	2591 x 4953 x 3150
<b>Ancho Máximo Pieza (mm)</b>	950
<b>Alto Máximo Pieza (mm)</b>	2450
<b>Temperatura Máximo(°C)</b>	260
<b>Sistema de Apagado</b>	Manual
<b>Sistema de Encendido</b>	Manual
<b>Control de Temperatura</b>	Análogo
<b>Tipo de Alarma</b>	Luz, Sonido
<b>Potencia (Kw)</b>	157,64
<b>Consumo de Gas (Kw/h)</b>	N.A
<b>Consumo de Energía(Kw/h)</b>	157,64
<b>Tiempo de Curado (min)</b>	6
<b>Piezas x Minuto</b>	0,4

(Airex,2008)

## 5.2. HORNO A GAS DE BACHE POR CONVECCION FORZADA

La aplicación de estos hornos es para el horneado de pintura, secado y calentamiento de todo tipo de producto y para cualquier tipo de tratamiento térmico hasta 650°C que requiera uniformidad de temperatura con circulación forzada de aire.

Las dimensiones de estos hornos permiten la carga y descarga con carros, o a mano ingresando a ellos.

Características:

- Recirculación de aire de alta presión.
- Registro para ajustar la circulación de aire.
- Gran capacidad de calefacción.
- Registro para salida de aire saturado y para entrada de aire fresco.
- Estructura soporte concebida para absorber los esfuerzos en forma adecuada.
- Excelente uniformidad de temperatura en la cámara de trabajo.
- Las puertas abisagradas, de robusto diseño y tienen cierre hermético, garantizado con junta perimetral.
- Para temperaturas mayores de 450 °C el interior se construye con chapa AISI 304, 310 ó 316 según necesidad.

- Para temperaturas menores de 450 °C el interior se pinta con aluminio para muy alta temperatura.
- La calefacción es por gas natural o envasado, con combustible líquido o vapor.
- El grupo calefactor y el recirculador podrán ubicarse en la parte superior o posterior del equipo según sea el tipo de circulación de aire adoptado y las necesidades de carga y uso del horno.
- El gabinete del tablero eléctrico es exterior, tiene puerta con cerradura y contiene los elementos de control, comando y potencia necesarios para el desarrollo de procesos.

Opcionales:

- Cualquier tipo de control automático de temperatura.
- Sistema de seguridad por exceso de temperatura.
- Supervisión electrónica de llama
- Alarma acústica y óptica.
- Puerta de tipo guillotina u otra.

Las especificaciones Eléctricas son:

- Panel de control
  - Terminales de potencia.
  - Control de temperatura.
  - Interruptores de calefacción y ventilación.
  - Luz piloto.
  - Temporizador.

Las especificaciones Mecánicas son:

- Recirculación de aire (motor)
  - Alta Eficiencia 10 HP.
- 3600 RPM
- Quemador
  - Capacidad de 500000 / 1000000 / 1500000 BTUh.
- Aislamiento
  - Temperatura máxima de servicio 1200°F.
  - Aislamiento en paredes, techo y piso.

- Escape de potencia (motor)
  - Alta Eficiencia 3 HP.
  - 1800 o 3600 RPM según especificaciones.
- Escape de potencia (chimenea)
  - Diámetro basado en chimeneas de 15 ft.
  - Amortiguador regulable.
- Juntas
  - Fibra de vidrio de alta temperatura.
  - Temperatura máxima de servicio 1000°F.
- Carcasa
  - Refuerzos puestos en las extremidades del aislamiento.
  - Ruedas guía.
- Bisagras
  - Entre 3 y 4 bisagras de calibre industrial.

Se puede optar por agregar algunas características especiales como lo son:

- Alarma relé, alarma de luz y alarma vibradora.
- Detector de puertas abiertas.

- Registrador gráfico.
- Reloj digital.
- Controlador programable de temperatura.
- Guardia de termocupla.
- Guardia de motor.
- Guardia eje.
- Puertas corredizas.
- Dispositivo de apertura de puertas automático.

Las especificaciones técnicas de este horno fueron tomadas de la referencia que más se ajusta a las necesidades de un horno de curado para la industria de elevadores teniendo en cuenta los escenarios requeridos dentro de la misma.

Tabla 7. Especificaciones técnicas Horno a gas

	<b>Horno A Gas bache</b>
<b>Dimensiones (HxDxW) (mm)</b>	2591 x 4935 x 3912
<b>Ancho Máximo Pieza (mm)</b>	1100
<b>Alto Máximo Pieza (mm)</b>	2450
<b>Temperatura Máximo(°C)</b>	320
<b>Sistema de Apagado</b>	Manual
<b>Sistema de Encendido</b>	Manual
<b>Control de Temperatura</b>	Análogo
<b>Tipo de Alarma</b>	Luz, Sonido
<b>Potencia (Kw)</b>	350
<b>Consumo de Gas (Kw/h)</b>	352
<b>Consumo de Energía(Kw/h)</b>	7,64
<b>Tiempo de Curado (min)</b>	4,5
<b>Piezas x Minuto</b>	0,7

(Airex,2008)

### 5.3. HORNO INFRARROJO

Resultan muy útiles los hornos infrarrojos catalíticos, dado que estos no presentan llama, en tanto que la combustión se realiza en el interior del calefactor y específicamente en el elemento catalizador, constituido por una manta de fibra cerámica enriquecida con platino. La principal desventaja de este sistema es su costo inicial bastante alto.

Figura 15. Horno infrarrojo de paneles catalíticos.



(Coservicios,2009)

Los paneles catalíticos están compuestos por un cuerpo y rejilla protectora de acero inoxidable, manta infrarroja catalítica de alto rendimiento, distribuidor de gas interno de aluminio, pre-calentador eléctrico blindado y aislación de lana mineral.

Los elementos de seguridad y automatización son de primera calidad, y responden en su totalidad a las normas de Gas Industrial. Sus principales componentes son: control de funcionamiento (electrónico o electromecánico), caja de conexiones de aluminio estanca con salidas mediante prensacables, filtro de gas, presostatos de alta y baja presión de gas, dos válvulas solenoides de corte total y válvula esférica de paso total.

Opcionales:

- Regulador-estabilizador de presión de entrada (con filtro incorporado).
- Instalación eléctrica bajo tubo flexible industrial con conectores de aluminio y trenes de válvulas protegidos con esmalte epoxi líquido amarillo.

Características:

- Funcionan a gas natural (G.N.) o envasado (G.L.P.) con baja presión (200 mm.c.a. y 280 mm.c.a. respectivamente), pudiendo obtenerse potencias de hasta 18.000 Kcal./hora.
- La combustión es completa, libre de monóxido de carbono y sin llama, lo que implica alta seguridad y posibilidad de trabajar en ambientes peligrosos.

- No poseen entrada de aire primario, lo cual asegura que las partes internas de los equipos no se vean afectadas por ambientes polvorientos.
- Son absolutamente silenciosos y admiten relaciones de máximo-mínimo de 4:1.
- Frente a equipos a gas de calentamiento convencional se obtiene un importante ahorro debido a la significativa reducción del consumo de gas y de los tiempos de procesos, que en líneas continuas además implica una substancial disminución del espacio necesario.
- Ante sistemas similares de accionamiento eléctrico reducen hasta un 60% el costo operativo.

Se recomienda su aplicación con sistema de regulación de potencia modulante.

Las especificaciones técnicas de este horno fueron tomadas de la referencia que más se ajusta a las necesidades de un horno de curado para la industria de elevadores teniendo en cuenta los escenarios requeridos dentro de la misma.

Tabla 8. Especificaciones técnicas horno de curado infrarrojo

	<b>Horno Infrarrojo</b>
<b>Dimensiones (HxDxW) (mm)</b>	2260 x 5900 x 3210
<b>Ancho Máximo Pieza (mm)</b>	1322
<b>Alto Máximo Pieza (mm)</b>	2610
<b>Temperatura Máximo(°C)</b>	400
<b>Sistema de Apagado</b>	Automático/Manual
<b>Sistema de Encendido</b>	Automático/Manual
<b>Control de Temperatura</b>	Digital
<b>Tipo de Alarma</b>	Luz, Sonido
<b>Potencia (Kw)</b>	185
<b>Consumo de Gas (Kw/h)</b>	180
<b>Consumo de Energía(Kw/h)</b>	5
<b>Tiempo de Curado (min)</b>	6
<b>Piezas x Minuto</b>	2,5

(CCI thermal, 2008)

## 6. ELECCIÓN TÉCNICA DEL HORNO

El método de discriminación que se implementara para la selección del horno técnicamente más viable, es el método de la matriz Pugh de la metodología six sigma.

Para realizar esta tabla se van a tener como características de evaluación las especificaciones técnicas de los equipos anteriormente descritos. A estas especificaciones se les darán valores de importancia teniendo como parámetro de medición la repercusión que puedan tener frente al desempeño del horno, la eficiencia en tiempos, versatilidad, capacidad y demás características que se deban tener en consideración para obtener como resultado el horno más viable técnicamente.

En la tabla 9, se presentan las especificaciones técnicas con su respectivo nivel de importancia, los cuales van a ser determinantes a la hora de tomar la decisión por su peso dentro de la matriz Pugh.

Tabla 9. Nivel de importancia especificaciones técnicas.

<b>CONCEPTO</b>	<b>NIVEL DE IMPORTANCIA</b>
Temperatura Máximo	5
Consumo de Gas	5
Consumo de Energía	5
Tiempo de Curado	5
Piezas x Minuto	5
Ancho Máximo Pieza	4
Alto Máximo Pieza	4
Potencia de Servicio	4
Dimensiones	3
Control de Temperatura	2
Tipo de Alarma	2
Sistema de Apagado	1
Sistema de Encendido	1

Elaboración propia,2009

La referencia que se tendrá para realizar la comparación entre los diferentes hornos propuestos, será el horno que se encuentra en funcionamiento en la empresa Coservicios S.A, para garantizar que el horno que consiga el mayor puntaje, indiferente a cual sea, técnicamente sea superior al actual.

En la tabla 10, se tienen los valores de las especificaciones técnicas del horno actual, las que nos servirán para cualificar más fácilmente si se tiene una ventaja o no frente a los hornos propuestos dentro de la matriz Pugh.

Tabla 10. Especificaciones técnicas horno actual.

	<b>Horno A Gas continuo (Actual)</b>
<b>Dimensiones (HxDxW) (mm)</b>	4500 x 23500 x 3670
<b>Ancho Máximo Pieza (mm)</b>	1000
<b>Alto Máximo Pieza (mm)</b>	2570
<b>Temperatura Máximo(°C)</b>	200
<b>Sistema de Apagado</b>	Automático/Manual
<b>Sistema de Encendido</b>	Automático/Manual
<b>Control de Temperatura</b>	Digital
<b>Tipo de Alarma</b>	Luz, Sonido
<b>Potencia (Kw)</b>	400
<b>Consumo de Gas (Kw/h)</b>	400
<b>Consumo de Energía(Kw/h)</b>	30
<b>Tiempo de Curado (min)</b>	25
<b>Piezas x Minuto</b>	3

(Coservicios, 2004)

Se realiza la matriz Pugh teniendo como fundamentos la información técnica de la tabla 8 y tabla 10, para luego analizar los resultados y seleccionar el mejor horno técnicamente entre los tres opcionados.

Tabla 11. Matriz de análisis Pugh.

Criterio	Nivel	Referencia Horno actual	Propuestas		
			Horno por resistencia conveccion forzada	Horno a gas y conveccion forzada	Horno infrarrojo
Dimensiones (HxDxW) mm	3		+	+	+
Ancho Máximo Pieza	4		-	+	+
Alto Máximo Pieza	4		-	-	+
Temperatura Máximo	5		+	+	+
Sistema de Apagado	1		S	S	S
Sistema de Encendido	1		S	S	S
Control de Temperatura	2		-	-	S
Tipo de Alarma	2		S	S	S
Potencia de Servicio	4		-	-	-
Consumo de Gas	5		+	+	+
Consumo de Energía	5		-	+	+
Tiempo de Curado	5		+	+	+
Piezas x Minuto	5		-	-	+
Suma de positivos			4	6	8
Suma de negativos			6	4	1
Suma de similares			3	3	4
Positivos cargados con nivel			18	27	36
Negativos cargados con nivel			24	15	4
TOTAL			-6	12	32

Elaboración propia, 2009

De acuerdo a los resultados arrojados por la matriz de decisión, la mejor opción técnica para realizar una renovación tecnológica sería por el horno infrarrojo de paneles catalíticos. En los resultados se puede apreciar claramente una ventaja

considerablemente alta de este horno frente a los hornos eléctricos y a gas por bache.

En la tabla 12 se pueden observar algunas conclusiones frente a los resultados arrojados por la matriz de decisión en comparación del horno infrarrojo frente al horno actualmente utilizado por la empresa Coservicios.

Tabla 12. Comparación cualitativa hornos de curado.

<b>HORNO INFRARROJO</b>	<b>HORNO A GAS CONTINUO (ACTUAL)</b>
Incremento en la producción	Tiempos de curado mayores. (Aprox 4 veces)
Mínima ocupación de área en planta. Hornos más cortos	Mayor ocupación de área en planta
Bajo Consumo de energía	Altos costos de funcionamiento (Electricidad y gas)
Calor instantáneo por transferencia de energía	Dificultad para garantizar temperatura homogénea en la pieza.
Múltiples zonas de control de temperatura	No se puede manejar por zona.
Eficiencia altísima en transferencia de calor	Poca eficiencia por estratificación del aire dentro del horno.
Mínimas emisiones de CO2	Altas emisiones por los quemadores.
Requiere poco flujo de aire circundante	Requiere altos tiempos de precalentamiento.

Elaboración propia, 2009

Técnicamente es viable realizar la renovación tecnológica para cambiar el horno a gas continuo por convección forzada, por el horno infrarrojo por paneles catalíticos, pero esto no nos garantiza que la renovación sea un éxito, ya que hay factores adicionales que deben ser tenidos en cuenta para realizar un estudio mas integral de todos los elementos relacionados con este cambio, como lo pueden ser la inversión, el montaje, costos de funcionamiento, mantenimiento (etc.)

Es por esto que se decide realizar un estudio de factibilidad técnico, económico y operacional para tener la certeza de que será una inversión viable, confiable y positiva para la organización entre los hornos mencionados.

## 7. ESCENARIOS DE USO.

Los escenarios de uso en las empresas de elevadores para el proceso de curado de pintura básicamente tienen que ver con la productividad necesaria para cumplir con las metas de producción establecidas o la misma demanda que se presente dentro de la organización en cuanto a elevadores se refiere.

La empresa COSERVICIOS S.A cuenta con una planta de producción propia, en la cual se fabrican el 80% de las partes que componen como tal el elevador. Además de esto, la empresa cuenta con una unidad de negocio adicional de subestaciones eléctricas. Esta unidad de negocio tiene el nombre de IMELEC, la cual, requiere también el servicio de pintura electrostática para la totalidad de las piezas fabricadas.

Para efectos de acabados y/o corrosión, todas estas partes deben estar pintadas con pintura electrostática por las prestaciones y calidad anteriormente descritas que proporcionan este tipo de pinturas. Es por esto que todas estas piezas deben pasar por el horno de curado. Y este será el volumen de producción referente para cuantificar y valorar los hornos propuestos, y verificar que cumpla con los requerimientos internos de la planta sin afectar la productividad de la misma.

La necesidad productiva para la planta de elevadores es de 60 elevadores mes, los cuales se programan en cantidades de 15 semanalmente. Para la planta de subestaciones la necesidad productiva es de 30 subestaciones mes, las cuales se

programan igualmente semanal con un promedio de 7 a 8 subestaciones semanales.

Además de pintar ambos procesos productivos, se debe suministrar el servicio de pintura al departamento de servicio técnico, el cual se encarga de realizar el servicio mantenimiento e instalación de los elevadores y subestaciones: Básicamente el servicio que se debe prestar tiene que ver con re-procesos en la pintura por golpes, mal uso, deterioro y defectos de acabado que se dan en los edificios o zonas donde se encuentran ubicados los equipos.

Debido a que existe gran variedad de partes para pintar y curar en Coservicios, la unidad de medida: cantidad de partes por proceso, no dará una percepción clara del volumen real de producción, ya que existe partes muy grandes y otras muy pequeñas, y con esto no se definirá de manera correcta cual debe ser la capacidad necesaria del proceso de pintura como tal para cumplir con la necesidad productiva y de re-procesos. Es por esto que los valores base para cuantificar la producción necesaria se darán en metros cuadrados.

Haciendo un promedio con la información histórica del año 2008 se tienen los siguientes datos. (Tabla 13)

Tabla 13. Producción curada en Coservicios

DEPARTAMENTO	PRODUCCION m <sup>2</sup> /mes	CANTIDAD DE PARTES
ASCENSORES ANDINO	6760	15670
IMELEC	1970	4423
SERVICIO TECNICO	889	1644
TOTAL	9619	21737

Elaboración propia, 2009

Para poder cumplir con estos volúmenes de producción actualmente se cuenta con un sistema de tracción por aire, en el cual se cuelgan las piezas desde el comienzo del proceso en la cabina de pintura electrostática hasta su finalización cuando salen del horno de curado. Este sistema debe viajar a una velocidad de 1 metro/minuto.

Referente a la mano de obra, se deben contar con dos turnos de cinco personas cada uno y con una duración de ocho horas durante seis días de la semana.

Esto nos da una operación del tren de pintura de 384 horas mensuales a un metro por minuto.

Tabla 14. Producción de curado total x mes

PRODUCCION (m <sup>2</sup> /mes)	TIEMPO DISPONIBLE (h/mes)	MANO DE OBRA (Per)	VEL. TRACCION (m/min)
9612	384	10	1

Elaboración propia, 2009

Con estos valores se tiene un cumplimiento del 98% en el proceso de pintura electrostática. Estos valores servirán como referencia para comparar la nueva aplicación que se quiere proponer, y en los cuales se podrán apreciar y cuantificar ventajas y desventajas de la propuesta que a su vez potencien o impidan la factibilidad de la misma.

## 8. ESTUDIO TECNICO

### 8.1 ANALISIS DEL PROCESO DE CURADO ACTUAL

#### 8.1.1 Especificaciones técnicas

Tabla 15. Especificaciones técnicas horno actual

Especificaciones	Horno A Gas continuo (Actual)
Dimensiones (HxDxW) (mm)	4500 x 23500 x 3670
Ancho Máximo Pieza (mm)	1000
Alto Máximo Pieza (mm)	2570
Altura del sistema de tracción(mm)	3210
Numero de motores	6
Numero de ventiladores	4
Numero de quemadores	2
Numero de extractores	2
Numero de chimeneas	4
Temperatura Máximo(°C)	200
Sistema de Apagado	Automático/Manual
Sistema de Encendido	Automático/Manual
Tiempo de encendido(min)	45
Control de recirculación	Manual
Control de Temperatura	Digital
Tipo de Alarma	Luz, Sonido
Potencia (Kw)	430
Consumo de Gas (Kw/h)	400
Consumo de Energía(Kw/h)	30
Tiempo de Curado (min)	25
Piezas x Minuto	3

### 8.1.2 Proceso de producción

El proceso de pintura electrostática comienza en el área de tanques de lavado, en el cual se realiza el tratamiento de superficies en el acero, con el fin de prevenir la oxidación en el mismo.

Este proceso cuenta con 6 tanques, distribuidos así:

1. Predesengrase
2. Desengrase
3. Enjuague 1
4. Fosfatado al zinc
5. Enjuague 2
6. Pasivado

Cuando la pieza sale del tratamiento de superficies, queda con una capa de fosfato, la cual será la protección del acero para evitar la corrosión.

Posteriormente la pieza pasa a ser colgada por parte de dos operarios en el sistema de tracción, que básicamente consta de un moto-reductor que mueve una cadena aérea por un circuito cerrado y que viaja a una velocidad de 1(m/min).

Cuando la pieza comienza el trayecto pasa por la cabina de pintura electrostática, en la cual se encuentran los equipos encargados de aplicar la pintura sobre la superficie de la pieza. Para este efecto se tiene una cabina Nordson Vantage VT12000 de última tecnología, con equipos de aplicación de pintura Nordson Sure coat. Es en este proceso que la pintura se carga magnéticamente por medio de los equipos de aplicación, y por el polo a tierra transmitido desde el sistema de tracción a la pieza que la pintura se pega de la pieza.

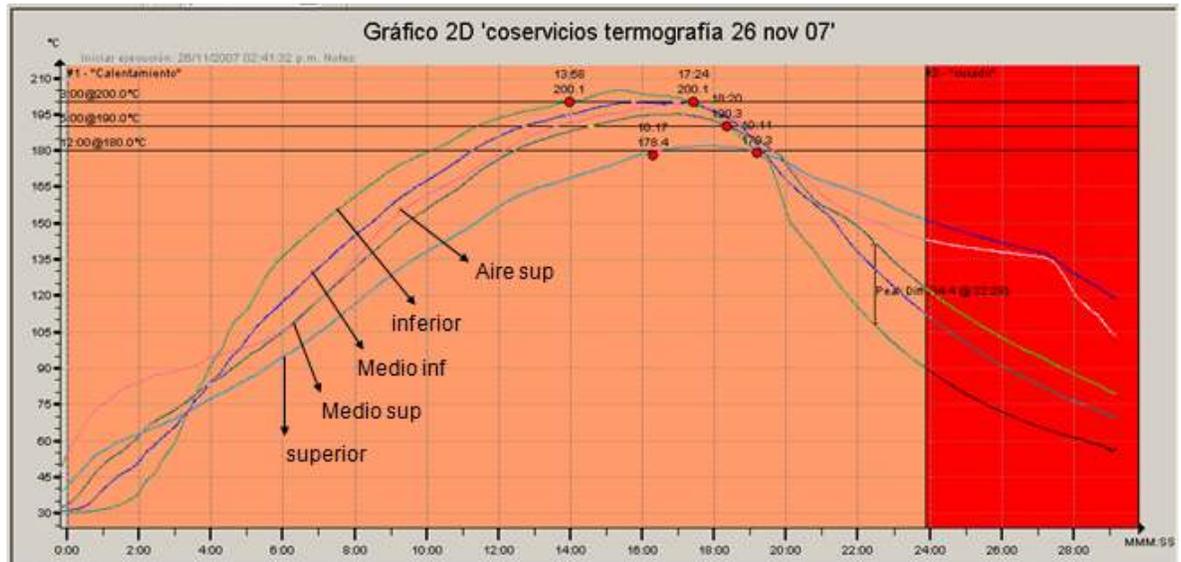
Esto garantiza un espesor de pintura homogénea para toda la superficie de la pieza. Los encargados de realizar el proceso de aplicación son dos operarios calificados, cada uno ubicado a cada lado de la cabina de pintura para poder pintar ambos lados de la pieza y este proceso tiene un tiempo de duración aproximadamente de 5 minutos por pieza.

Inmediatamente sale de la cabina de pintura entra al horno de curado a gas por convección forzada continua, en el cual comienza un proceso lento de calentamiento de la pieza, la cual le transmitirá el calor a la pintura por el proceso de conducción de temperatura. La longitud del horno es de 23 metros, por lo que la pieza se demora aproximadamente 24 minutos en salir del mismo ya con la pintura curada. En la grafica 7: se muestra por medio de un análisis termográfico la proyección de tiempo y longitud del horno vs la temperatura de la pieza en sus diferentes zonas que son:

- Zona alta
- Zona Media alta
- Zona media baja

- Zona baja.

Grafica7. Termo grafía horno por convección forzada actual.

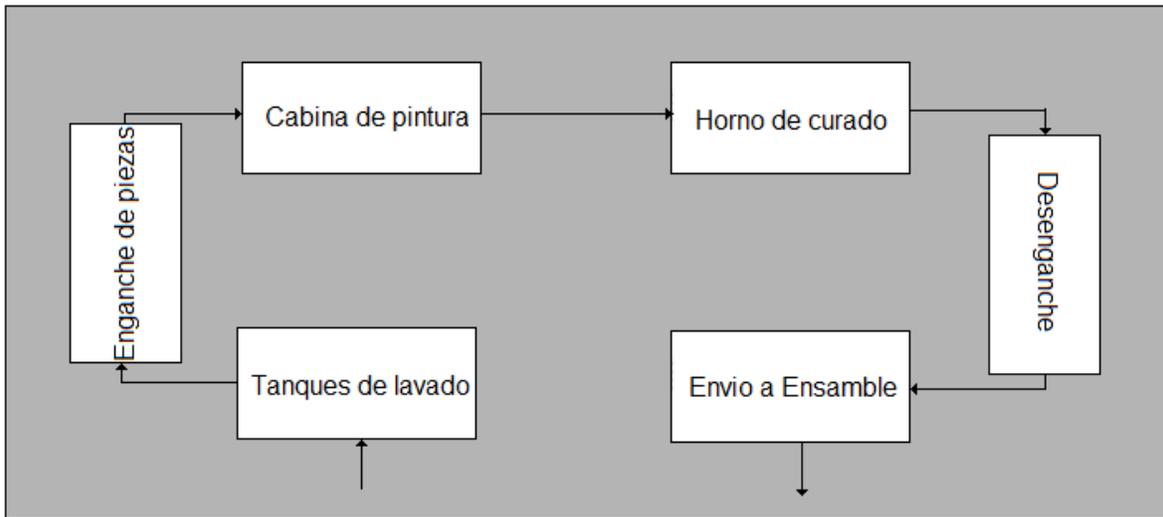


(Coservicios@2007)

En este tiempo en el cual la pieza pasa por el horno de curado se deben garantizar los tiempos y la temperatura estipulada por el fabricante de la pintura para cumplir con todas las características técnicas y de desempeño de la misma, como se muestran en las graficas de pintura del capítulo 1.

Finalmente las piezas son bajadas del sistema de tracción para ser llevadas a los diferentes departamentos de la compañía para su ensamble y distribución.

Figura 16. Proceso de pintura y curado.



Elaboración propia, 2009

El control de calidad que tiene este proceso de pintura, consta de pruebas destructivas a probetas que se pintan periódicamente con los diferentes tipos de color aplicados durante la semana. Los resultados que arrojen las pruebas serán evaluados frente a rangos suministrados por los fabricantes de la pintura. Las pruebas que se realizan en este proceso de calidad para la compañía Coservicios.S.A son:

- Prueba de espesor de pintura (60 a 80 micras)
- Prueba de desprendimiento
- Prueba de impacto frontal
- Prueba de impacto inversa
- Prueba de flexibilidad

Cuando se realizan todas las pruebas anteriormente descritas, la pintura no puede presentar ningún tipo de resquebrajamientos, ni decoloración ni pérdida de brillo.

### 8.1.3 Capacidad de producción

Para determinar la capacidad de producción del horno, se debe tener en cuenta todo el proceso de pintura que lo involucra, ya que hace parte de un flujo continuo de producción, sin embargo el horno es el que da el tiempo para la velocidad de curado de pintura, ya que su longitud determinara cuanto se demora las piezas para curarse. Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, la tabla 15 nos indica los valores de producción en un periodo de un mes.

Tabla 16. Valores de producción x mes.

PRODUCCION (m <sup>2</sup> /mes)	TIEMPO DISPONIBLE (h/mes)	MANO DE OBRA (Per)	VEL. TRACCION (m/min)
9612	384	10	1

(Coservicios, 2009)

## 8.2 ANALISIS DEL PROCESO DE CURADO INFRARROJO

### 8.2.1. Especificaciones técnicas

Tabla 17. Especificaciones técnicas

Especificaciones	Horno infrarrojo catalítico
Dimensiones (HxDxW) (mm)	2260 x 5900 x 3210
Ancho Máximo Pieza (mm)	1322
Alto Máximo Pieza (mm)	2610
Altura del sistema de tracción(mm)	3210
Numero de motores	2
Numero de ventiladores	1
Numero de paneles catalíticos	24
Numero de extractores	1
Numero de chimeneas	1
Temperatura Máximo(°C)	400
Sistema de Apagado	Automático/Manual
Sistema de Encendido	Automático/Manual
Tiempo de encendido(min)	25
Control de recirculación	PLC
Control de Temperatura	PLC
Tipo de Alarma	Luz, Sonido
Potencia (Kw)	180
Consumo de Gas (Kw/h)	180
Consumo de Energía(Kw/h)	5
Tiempo de Curado (min)	6
Piezas x Minuto	2,5

Elaboración propia, 2009

### 8.2.2 Proceso de producción

El proceso de pintura electrostática comienza en el área de tanques de lavado, en el cual se realiza el tratamiento de superficies en el acero, con el fin de prevenir la oxidación en el mismo.

Este proceso cuenta con 6 tanques, distribuidos así:

1. Pre-desengrase
2. Desengrase
3. Enjuague 1
4. Fosfatado al zinc
5. Enjuague
6. Pasivado

Cuando la pieza sale del tratamiento de superficies, queda con una capa de fosfato, la cual será la protección del acero para evitar la corrosión.

Posteriormente la pieza pasa a ser colgada por parte de dos operarios en el sistema de tracción, que básicamente consta de un moto-reductor que mueve una cadena aérea por un circuito cerrado y que viaja a una velocidad de 1(m/min).

Cuando la pieza comienza el trayecto pasa por la cabina de pintura electrostática, en la cual se encuentran los equipos encargados de aplicar la pintura sobre la superficie de la pieza. Para este efecto se tiene una cabina Nordson Vantage VT12000 de última tecnología, con equipos de aplicación de pintura Nordson Sure coat. Es en este proceso que la pintura se carga magnéticamente por medio de los equipos de aplicación, y por el polo a tierra transmitido desde el sistema de tracción a la pieza que la pintura se pega de la pieza.

Esto garantiza un espesor de pintura homogénea para toda la superficie de la pieza. Los encargados de realizar el proceso de aplicación son dos operarios calificados, cada uno ubicado a cada lado de la cabina de pintura para poder pintar ambos lados de la pieza y este proceso tiene un tiempo de duración aproximadamente de 5 minutos por pieza.

Inmediatamente sale la pieza de la cabina entraría al horno infrarrojo que comienza a calentar la pintura. Este proceso de calentamiento hace que el curado de la pintura comience a darse de manera inmediata, debido a que las ondas viajan a la velocidad de la luz, además de esto como la onda actúa directamente en la pintura, la eficiencia de transferencia de calor es altísima. Es por esto que el proceso de curado se reduciría a un tiempo de 6 minutos, lo que significa aproximadamente la cuarta parte del tiempo que se emplea con el horno a gas por convección forzada. Como el proceso se realiza de manera continua, cuando el sistema de tracción comienza a salir del horno con las piezas ya curadas de manera continua, se tendría la misma capacidad de producción que el horno por convección forzada, la cual es de tres piezas por minuto.

El horno para efectos de esta velocidad, no trabajaría al 100% de su potencia porque sobrecargaría la pintura. De acuerdo a su potencia, para curar piezas en seis minutos, la calibración de los paneles catalíticos debe estar alrededor de 50 al 70% de la potencia total, concluyendo con esto que se podría aumentar la velocidad del sistema de tracción y así aumentar la productividad del proceso.

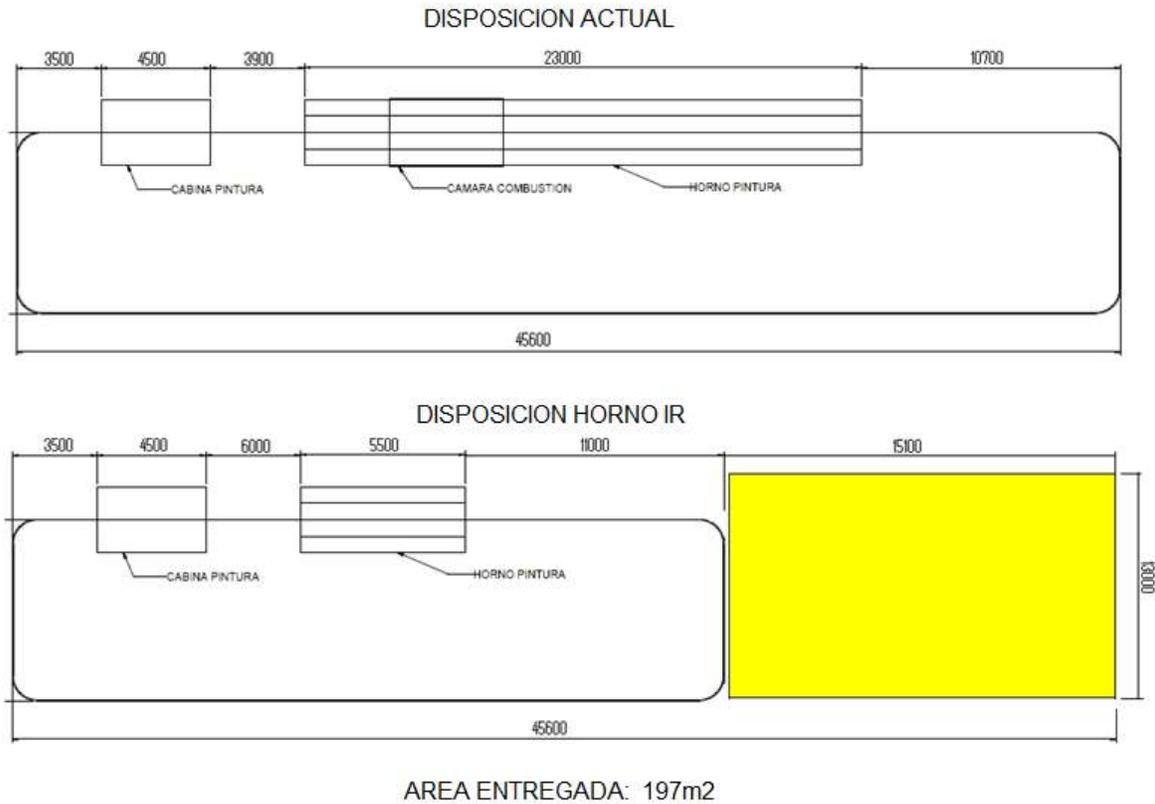
También se debe tener en cuenta que como el proceso es continuo en los diferentes puestos de trabajo, pueden existir limitantes que eviten llevar el horno al 100% de su rendimiento.

Finalmente las piezas son bajadas del sistema de tracción para ser llevadas a los diferentes departamentos de la compañía para su ensamble y distribución.

Como la longitud del horno infrarrojo es muchísimo menor a comparación con el horno actual, el sistema completo de tracción se reduciría a casi la mitad del que se tiene actualmente con el horno a gas continuo. Lo que generaría un espacio disponible al interior de la planta, el cual puede ser asignado a cualquier proceso o simplemente ser utilizado para almacenamiento.

En la figura 16, se compara la distribución actual con la distribución que se tendría con la adecuación del horno infrarrojo al sistema productivo.

Figura 17. Distribucion planta actual Vs propuesta



Elaboración propia, 2009

En total serian 197 m2 que podría ser utilizados en otros procesos, siendo esta una de las ventajas principales por los altos costos de bodegaje en el sector. (Barrio Colombia).

En algunos colores como lo son el aluminio y el negro-platino, a las piezas se les debe aplicar una capa de esmalte llamado: clear, con el fin de darle brillo al color. Este color después de la primera aplicación del color base y antes de ser aplicado el clear, no debe ser manipulado, puesto que el acabado de la pintura se daña y

queda con apariencia manchada. Por lo que las piezas deben dar la vuelta completa por todo el sistema de tracción hasta llegar nuevamente a la cabina de pintura y repetir el proceso.

Al reducir la longitud del sistema de tracción, para estos casos, el tiempo se reduciría aproximadamente a la mitad, lo que generaría un aumento en la productividad para estos colores, los cuales representan el 30% de la producción total en el departamento de pintura electrostática.

### 8.2.3 Capacidad de producción:

Con este horno ya no habría limitantes por su propio desempeño para aumentar la velocidad de la cadena, debido a que la potencia de los paneles no estaría trabajando al 100% de su potencia. En todos los procesos que intervienen en el proceso de pintura y curado de la pintura electrostática, sin incluir el horno, trabaja del 70% al 80% de su capacidad, puesto que el horno actual genera una especie de cuello de botella en el proceso completo. Ya con el horno de pintura infrarroja se podría realizar un aumento en la velocidad de la cadena aproximadamente de un 35% a un 45% sin afectar el desempeño de los procesos anteriormente mencionados, y sin generar tampoco cuellos de botella nuevos dentro del mismo proceso.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, la tabla 17 nos indica los valores de producción en un periodo de un mes con un aumento en la velocidad de la cadena de un 40%, o sea, 1,4m/min.

Tabla 18. Productividad por aumento al 40%

PRODUCCION (m <sup>2</sup> /mes)	TIEMPO DISPONIBLE (h/mes)	MANO DE OBRA (Per)	VEL. TRACCION (m/min)
13457	384	10	1

Elaboración propia, 2009

Si la capacidad de producción es mayor a la demanda de la empresa, se podrían realizar trabajos de pintura a terceros, que generarían ingresos extras para la compañía. También se podrían reducir los turnos de pintura durante la semana, generando a la empresa una reducción de costos de mano de obra para este proceso.

## 9. ESTUDIO ECONOMICO

### 9.1 ESTUDIO HORNO ACTUAL:

#### 9.1.1 Costos de funcionamiento

El horno por convección forzada continuo que se encuentra actualmente en operación fundamentalmente genera gastos de funcionamiento por los dos elementos necesarios para desarrollar las temperaturas requeridas y la convección forzada del aire dentro del mismo, como lo son el suministro de gas y el suministro de energía. Además de esto se debe tener en cuenta la mano de obra necesaria para la operación del mismo.

Para cuantificar los consumos que realiza el horno en su funcionamiento se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Elementos que consumen gas.
- Elementos que consumen energía.
- Tiempo de funcionamiento mensual.
- Mano de obra por operación.

### 9.1.1.1 Elementos que consumen gas

Ya que la fuente de energía calorífica es dada por los quemadores de gas, se puede decir que son los directamente responsables del calentamiento global del horno y de las piezas que por ahí pasen para el proceso de curado. Es por esto que el horno cuenta con dos quemadores marca Baltur, referencia Sparkgas 30, los cuales consumen la totalidad del gas requerido por el horno para su funcionamiento. Como este consumo se mide en un periodo de tiempo, de acuerdo a los escenarios de trabajo expuestos anteriormente en el capítulo 5, el tiempo de operación es de 384 horas mensuales bajo operación estándar. En la tabla 18 se relacionan los elementos versus los consumos y los costos.

Tabla 19. Consumo de gas.

ELEMENTO	POTENCIA(Kw/h)	CONSUMO GAS(m <sup>3</sup> /h)	VALOR (h)	TIEMPO (h/mes)	COSTO GAS (\$/mes)
QUEMADOR 1 BALTUR SPARKGAS 30	200	20	15962,4	384	6129561,6
QUEMADOR 2 BALTUR SPARKGAS 30	200	20	15962,4	384	6129561,6
			COSTO TOTAL GAS (\$/mes)		\$ 12.259.123

Elaboración propia, 2009

### 9.1.1.2 Elementos que consumen Energía

El consumo de energía para el horno tiene que ver fundamentalmente con el consumo de los moto-ventiladores encargados de la circulación del aire al interior del mismo, también lo que tiene que ver con el funcionamiento del control plc, en el cual se encuentra todo el sistema encargado de controlar temperaturas,

velocidad de aire, velocidad de cadena y seguridades del equipo. De la misma manera que el consumo de gas, este debe ser calculado en base a las horas dictadas por los escenarios de uso, las cuales son 384 horas mensuales bajo operación estándar. En la tabla 19 se relacionan los elementos versus los consumos y los costos.

Tabla 20. Consumo de energía

ELEMENTO	POTENCIA(Hp)	CONSUMO ENERGIA (Kw/h)	VALOR (\$/h)	TIEMPO (h/mes)	COSTO ENERGIA (\$/mes)
Motor recirculacion entrada	6	4,58	1500,98	384	576378,22
Motor recirculacion salida	6	4,58	1500,98	384	576378,22
Motor extraccion entrada	4	3,06	1000,66	384	384252,15
Motor extraccion salida	4	3,06	1000,66	384	384252,15
Motor induccion 1 camara	10	7,64	2501,64	384	960630,37
Motor induccion 2 camara	9	6,88	2251,48	384	864567,34
Tablero de control	N.A	7,43	2432,88	384	934225,61
COSTO TOTAL ENERGIA (\$/mes)					\$ 4.680.684

Elaboración propia, 2009

#### 9.1.1.3 Mano de obra

Para operar el horno de curado, se debe contar con un operario encargado de controlar las variables involucradas dentro del proceso, como son la temperatura y el caudal del aire circundante. Debido a que el horno funciona por un período de dos turnos, durante seis días de la semana, se deben tener dos operarios calificados netamente encargados del proceso de operación del horno. En la tabla 20 se discriminan los costos de mano de obra.

Tabla 21. Costos mano de obra

EMPLEADO	SALARIO BASICO	AUX. TRANSPORTE	PRESTACIONES	COSTO X EMPLEADO
OPERARIO TURNO DE LA MAÑANA	\$ 530.000	\$ 59.218	\$ 374.500	\$ 963.718
OPERARIO TURNO DE LA TARDE	\$ 530.000	\$ 59.218	\$ 374.500	\$ 963.718
			<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 1.927.436</b>

Elaboración propia, 2009

En la tabla 21 se encuentra el consolidado de los costos de funcionamiento del horno de curado actual en cuanto a mano de obra por el periodo de un mes.

Tabla 22. Costo total de funcionamiento

DESCRIPCION	COSTO X MES
COSTOS CONSUMO DE GAS	12259123
COSTOS CONSUMO DE ENERGIA	4680684
COSTOS DE MANO DE OBRA	1927436
<b>COSTO TOTAL DE FUNCIONAMIENTO</b>	<b>18867243</b>

Elaboración propia, 2009

### 9.1.2 Costos de mantenimiento

Los costos de mantenimiento para el horno son relativamente variables mes a mes, sin embargo se hizo un promedio de las cifras del año pasado en el historial de mantenimiento de la empresa Coservicios, discriminadas por elementos. También se tienen en cuenta los mantenimientos correctivos como una sola variable promedio, en la cual se encuentran todos los gastos de reparación generados por el horno. Los resultados arrojados será el valor del costo de mantenimiento total del horno de curado por un periodo de un mes.

Tabla 23. Costos de mantenimiento.

ELEMENTOS	COSTO DE MATERIA PRIMA	COSTO DE MANO DE OBRA	COSTO DE REPUESTOS	MANTENIMIENTO CORRECTIVO
MOTORES	N.A	\$ 67.300	\$ 25.000	\$ 20.430
VENTILADORES	N.A	\$ 67.300	\$ 12.000	\$ 7.600
QUEMADORES	N.A	\$ 74.900	\$ 50.000	\$ 48.320
RODAMIENTOS Y CHUMASERAS	N.A	\$ 44.830	\$ 35.000	\$ 13.764
ACOMETIDAS ELECTRICAS	\$ 27.384	\$ 37.000	N.A	N.A
LIMPIEZA GENERAL	\$ 34.718	\$ 114.560	N.A	N.A
LUBRICACION	\$ 55.056	\$ 95.560	N.A	N.A
COSTO TOTAL X CONCEPTO	\$ 117.158	\$ 501.450	\$ 87.000	\$ 90.114

<b>COSTO TOTAL MANTENIMIENTO</b>	<b>\$ 795.722</b>
----------------------------------	-------------------

Elaboración propia, 2009

Para la compañía Coservicios S.A, tener en operación el horno de curado de pintura electrostática a gas por convección forzada continua tiene un costo integral de \$ 19'662.965 por mes.

## 9.2 HORNO INFRARROJO:

### 9.2.1 Costos de inversión

Para la Adquisición del horno de curado hay dos opciones:

- Opción 1: Adquirir el horno completamente fabricado en CCI Thermal en Greensburg, Indiana. Con los siguientes costos.

Tabla 24. Opción 1 adquisición horno

CONCEPTO	VALOR
Horno infrarrojo con tablero de control	US\$ 174.368,00
Gastos de importación	US\$ 43.592,00
Valor total	US\$ 217.960,00

(CCI, 2008)

- Opción 2: Adquirir los elementos tecnológicos desde Greensburg como lo son: los paneles catalíticos, el tablero de control y el software. Y fabricar el horno de curado en Medellín por medio de la empresa PREMAC, la cual está certificada por la compañía CCI Thermal para realizar este tipo de trabajos. Toda la fabricación es guiada directamente por CCI termal, con aprobación de planos, materias primas y garantía.

Tabla 25. Opción 2 adquisición horno

CONCEPTO	VALOR
Tablero de control, software y paneles catalíticos	US\$ 79.750,00
Gastos de importación	US\$ 19.937,50
Manufactura por Premac	US\$ 45.846,00
Valor total	US\$ 145.533,50

(CCI, 2008)

Debido a las garantías que da la empresa CCI thermal por el trabajo que realice PREMAC S.A, no hay ninguna diferencia entre la calidad, desempeño, forma y tecnología que pueda tener el horno directamente manufacturado en CCI Thermal, con el que manufacture PREMAC S.A. Es por esto que se toma la decisión de utilizar la información perteneciente a la opción numero dos por efectos de economía frente a la opción numero uno.(Anexo 1)

La inversión de la empresa Coservicios S.A para obtener el horno infrarrojo de paneles catalíticos será de US\$145.533.50 En base a una TRM de \$2.300 tendría un valor en COL\$ 334'727.050

Para la inversión inicial Coservicios S.A estaría dispuesta a pagarla sin ningún tipo de financiación. Los métodos de pago para realizar esta inversión son:

Tabla 26. Método de pago para la inversión.

	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	TOTAL
Tablero de control, software y paneles catalíticos	US\$ 79.750,00					US\$ 79.750,00
Gastos de importación		US\$ 19.937,50				US\$ 19.937,50
Manufactura por Premac		US\$ 22.923,00		US\$ 13.753,80	US\$ 9.169,20	US\$ 45.846,00
Valor total	US\$ 79.750,00	US\$ 42.860,50		US\$ 13.753,80	US\$ 9.169,20	US\$ 145.533,50

Elaboración propia.

### 9.2.2 Gastos de instalación

Según el contrato de negociación, el valor del horno no corre con los gastos de transporte hacia la empresa, como tampoco con los gastos de instalación y capacitación. Es por esto que se deben tener en cuenta como costos adicionales a la adquisición pero dentro de la inversión inicial.

Tabla 27. Gastos de instalación

CONCEPTO	CANT.	VALOR
CAMA BAJA TRANSPORTE PREMACE - COSERVICIOS	6 HORAS	\$ 1.000.000
MONTACARGA PREMACE	2 HORAS	\$ 350.000
MONTACARGA COSERVICIOS	2 HORAS	\$ 350.000
CABLE 00 PARA ACOMETIDA ELECTRICA	290 METROS	\$ 5.670.000
TUBERIA Y ACCESORIOS ACOMETIDA DE GAS	N.A	\$ 1.350.000
MANO DE OBRA OPERARIOS COSERVICIOS	360 HORAS	\$ 972.000
MANO DE OBRA TECNICOS DE PREMACE	20 HORAS	\$ 1.320.000
	TOTAL INSTALACION	\$ 11.012.000

Elaboración propia, 2009

Para la compañía Coservicios S.A, la adquisición de horno infrarrojo de paneles catalíticos y su instalación y puesta en marcha tiene un valor integral de \$ 345'739.050 pesos distribuidos en desembolsos programados como lo muestra la tabla 25.

### 9.2.3 Costos de funcionamiento

El horno infrarrojo de celdas catalíticas básicamente requiere dos elementos para su funcionamiento, como lo son el suministro de gas natural y el suministro de energía eléctrica. Además de esto, se debe tener en cuenta la mano de obra para su operación.

Para cuantificar los consumos que realiza el horno en su funcionamiento se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Elementos que consumen gas.
- Elementos que consumen energía.
- Tiempo de funcionamiento mensual.
- Mano de obra por operación.

#### 9.2.3.1 Elementos que consumen gas

Los paneles catalíticos son los encargados de consumir todo el gas que el equipo exige, puesto que son los encargados de realizar la reacción química que produce

la onda infrarroja. En total son 24 paneles ubicados al interior del horno en forma de 4 filas y tres columnas para cada lado del horno. El consumo individual de cada uno de estos paneles es de 18Kw/h. Como este consumo se mide en un periodo de tiempo, de acuerdo a los escenarios de trabajo expuestos anteriormente en el capítulo 5, el tiempo de operación es de 384 horas mensuales bajo operación estándar. En la tabla 27 se relacionan los elementos versus los consumos y los costos.

Tabla 28. Consumo de gas

ELEMENTO	CANTIDAD	POTENCIA(Kw/h)	CONSUMO GAS (m3/h)	VALOR (\$/h)	TIEMPO (h/mes)	COSTO GAS (\$/mes)
PANELES CATALITICOS	24	9	0,8	15323,904	384	\$ 5.884.379

Elaboración propia, 2009

### 9.2.3.2 Elementos que consumen energía

El consumo que tiene el horno en cuanto a energía se refiere tiene que ver con la extracción del humo al interior del horno, y la circulación de aire al interior del mismo por medio de dos moto-ventiladores, también lo que tiene que ver con el funcionamiento del control plc, en el cual se encuentra todo el sistema encargado de controlar temperaturas, velocidad de aire, velocidad de cadena y seguridades del equipo. De la misma manera que el consumo de gas, este debe ser calculado en base a las horas dictadas por los escenarios de uso, las cuales son 384 horas mensuales bajo operación estándar. En la tabla 28 se relacionan los elementos versus los consumos y los costos.

Tabla 29. Consumo de energía.

ELEMENTO	POTENCIA(Hp)	CONSUMO ENERGIA (Kw/h)	VALOR (\$/h)	TIEMPO (h/mes)	COSTO ENERGIA (\$/mes)
Motor recirculacion salida	5	3,82	1250,82	384	480315,19
Motor extraccion entrada	2	1,53	500,33	384	192126,07
Tablero de control	N.A	8,84	2894,57	384	1111514,73
COSTO TOTAL ENERGIA (\$/mes)					\$ 1.783.956

Elaboración propia, 2009

#### 9.2.4 Mano de obra

Debido a que el horno infrarrojo cuenta con un sistema de control con software integrado al equipo, no requiere un operario que este constantemente al frente de la operación del mismo. Incluso el equipo se puede programar para que se prenda y se apague automáticamente a una hora determinada. El mismo operario de la cabina de pintura líquida, o incluso el supervisor del proceso puede estar monitoreando la potencia del equipo por lapsos de tiempo, sin riesgo a que el equipo funcione de manera errónea, a su vez que puede realizar modificaciones a la potencia, las cuales toman alrededor de 1 minuto para su cambio. Es por esto para la operación de este equipo no se requiere de mano de obra.

#### 9.2.5 Área utilizada:

Al reducir el sistema de tracción de la zona de pintura, la zona de la planta que queda disponible con un área de 197m<sup>2</sup>, la cual puede ser utilizada para bodegaje.

Teniendo como referencia el valor de un m<sup>2</sup> de bodega en la zona donde se encuentra las instalaciones de Coservicios, se cuantifica el valor comercial de esta área en la tabla 29.

Tabla 30. Área disponible

DESCRIPCION	CANT (m2)	VALOR (m2/mes)	TOTAL
AREAL DISPONIBLE	197	25000	4925000

Elaboración propia, 2009

Este valor indica una de las alternativas de aprovechamiento de este espacio, en la cual, resultaría un ingreso considerable y adicional para la compañía que se debe tener en cuenta.

Para la compañía Coservicios S.A, tener en operación el horno infrarrojo de paneles catalíticos tendría un costo integral de \$ 7'668.335 por mes.

#### 9.2.6 Recuperación de la inversión

Tabla 31. Entrada de datos

	2009	2010	2011	2012	2013
ACTIVOS FIJOS	\$ 345.739.050	-	-	-	-
Maquinaria y equipo	\$ 334.727.050	-	-	-	-
Instalacion	\$ 11.012.000	-	-	-	-
<b>COSTOS SISTEMA ACTUAL</b>	-	\$ 2.831.466.960	\$ 254.832.026	\$ 275.218.589	\$ 297.236.076
Consumo de gas	-	\$ 147.109.476	\$ 158.878.234	\$ 171.588.493	\$ 185.315.572
Consumo de energia	-	\$ 56.168.208	\$ 60.661.665	\$ 65.514.598	\$ 70.755.766
Mano de obra	-	\$ 23.129.232	\$ 24.979.571	\$ 26.977.936	\$ 29.136.171
Mantenimiento	-	\$ 9.548.664	\$ 10.312.557	\$ 11.137.562	\$ 12.028.567
<b>COSTOS SISTEMA PROPUESTO</b>	-	\$ 1.813.440.240	\$ 1.958.515.459	\$ 2.115.196.696	\$ 2.284.412.432
Consumo de gas	-	\$ 70.612.548	\$ 76.261.552	\$ 82.362.476	\$ 88.951.474
Consumo de energia	-	\$ 21.407.472	\$ 23.120.070	\$ 24.969.675	\$ 26.967.249
Ahorro de area	-	\$ 59.100.000	\$ 63.828.000	\$ 68.934.240	\$ 74.448.979

Elaboración propia, 2009

Los consumos para los diferentes años se realizaron con una inflación del 8%.

Tabla 32. Flujo de inversión:

	2009	2010	2011	2012	2013
INVERSIONES FIJAS	\$ 345.739.050	-	-	-	-
Maquinaria y equipo	\$ 334.727.050	-	-	-	-
Instalación	\$ 11.012.000	-	-	-	-
INVERSIONES DIFERIDAS	-	-	-	-	-
Estudios	-	-	-	-	-
Gastos de montaje	-	-	-	-	-
Capacitación	-	-	-	-	-
FLUJO DE LA INVERSION	\$ 345.739.050	0	0	0	0

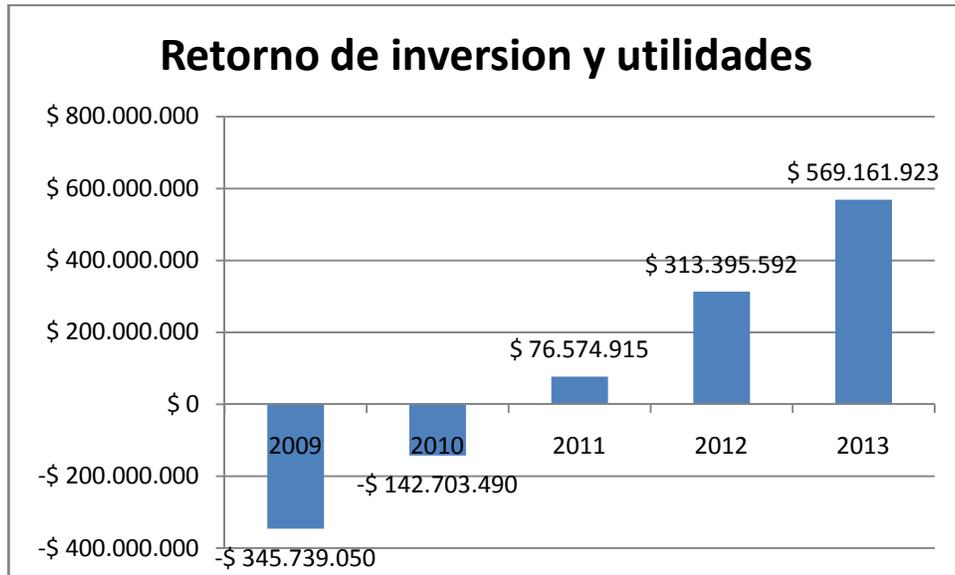
Elaboración propia, 2009

Tabla 33. Costos de operación

	2009	2010	2011	2012	2013
COSTOS SISTEMA ACTUAL					
Consumo de gas	-	\$ 147.109.476	\$ 158.878.234	\$ 171.588.493	\$ 185.315.572
Consumo de energía	-	\$ 56.168.208	\$ 60.661.665	\$ 65.514.598	\$ 70.755.766
Mano de obra	-	\$ 23.129.232	\$ 24.979.571	\$ 26.977.936	\$ 29.136.171
Mantenimiento	-	\$ 9.548.664	\$ 10.312.557	\$ 11.137.562	\$ 12.028.567
TOTAL COSTO ACTUAL	-	\$ 235.955.580	\$ 254.832.026	\$ 275.218.589	\$ 297.236.076
COSTOS SISTEMA PROPUESTO	-				
Consumo de gas	-	\$ 70.612.548	\$ 76.261.552	\$ 82.362.476	\$ 88.951.474
Consumo de energía	-	\$ 21.407.472	\$ 23.120.070	\$ 24.969.675	\$ 26.967.249
Ahorro de área	-	-\$ 59.100.000	-\$ 63.828.000	-\$ 68.934.240	-\$ 74.448.979
TOTAL COSTO PROPUESTO	-	\$ 32.920.020	\$ 35.553.622	\$ 38.397.911	\$ 41.469.744
TOTAL AHORRO	-	\$ 203.035.560	\$ 219.278.405	\$ 236.820.677	\$ 255.766.331

Elaboración propia, 2009

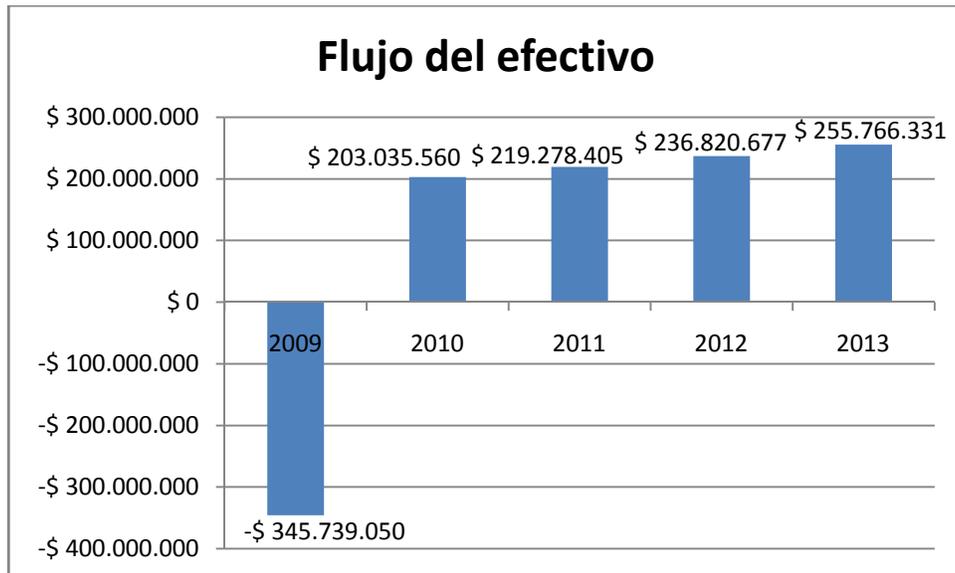
Grafica 8. Retorno de la inversión:



Elaboración propia, 2009

El retorno de la inversión se daría en un plazo de 20 meses.

Grafica 9. Flujo del efectivo



Elaboración propia, 2009

Gráficamente se puede observar el flujo para los próximos 5 años según las cifras de costos operacionales para el nuevo sistema propuesto frente al actual.